

## 明 細 書

## 光コネクタの接続損失計算方法及びそれを用いたシミュレータ

## 5 技術分野

本発明は、光通信に用いられる光コネクタの接続損失値の分布データをシミュレーションにより推定する方法及びその方法を用いたシミュレータに関する。

## 背景技術

10 近年、通信における情報量の増大に伴い、光ファイバを用いた光通信が使用されている。この光通信において、光ファイバ同士の接続には光コネクタが用いられている。

15 該光コネクタに用いられるプラグ 10 は、図 18 及び図 19 に示すように円筒形のフェルール 1 に光ファイバ保護具 2 が予め固定されており、フェルール 1 に形成された貫通孔 1 a に被覆を除去した光ファイバ 3 の先端部分を挿入し、接着剤 4 により保持固定し、一対のフェルール 1 をスリーブ 5 の両端から挿入して、該スリーブ 5 の内部で凸球面状に研磨加工した先端面 1 b 同士を当接させるようにした構造となっている。

20 上記光コネクタでは、低損失でかつ低反射の光接続を保障するため、光コネクタの組立後、光学特性の測定が行われる。測定項目としては、光コネクタの接続部での光の透過率を示す接続損失と、光の反射率を示す反射減衰量とがあり、現在はこれらの接続損失と反射減衰量とを人手により個別に測定している。

25 図 20 A 及び図 20 B は光コネクタのランダム接続損失の測定法を説明する図である。この図において、LD 光源 11、リファレンス光コード 12、光コネクタ 12 a、リファレンス光コネクタ 12 b、アダプタ 13、被測定用である両端に光コネクタ付きの光コード 14、測定対象である光コネクタ 14 a、終端側の光コネクタ 14 b、受光ユニット 15、パワーメータ 16 から構成されている。

ここでリファレンス光コネクタ 12 b とは、測定対象である光コネクタ 14 a、14 b と同一の仕様の光コネクタであり、通常は製造上の被測定用光コネクタと

同一ロットからランダムに抽出されたものを用いる。

まず、光コネクタの接続損失の測定に先立ち、図 20 A に示す測定系において、接続損失の基準設定を行う。リファレンス光コード 12 の一端の光コネクタ 12 a を LD 光源 11 に接続し、リファレンス光コネクタ 12 b を受光ユニット 15 に接続する。リファレンス光コネクタ 12 b からの出射光は、空気層を介して受光ユニット 15 により受光される。このリファレンス光コネクタ 12 b から出射パワー  $P_0$  をパワーメータ 16 により読み取り、この値を接続損失測定における基準値（接続損失を 0 dB）と規定する。

次に、測定対象である光コネクタ 14 a の接続損失を測定するため、リファレンス光コネクタ 12 b を受光ユニット 15 から取外した後、図 20 B に示すように、アダプタ 13 を介して被測定用の光コード 14 と接続し、光コネクタ 14 b からの出射光は、基準値測定の時と同様に、空気層を介して受光ユニット 15 により受光される。この時の出射パワー  $P_1$  をパワーメータ 16 により測定する（日本特許第 3323919 号公報参照）。

光コネクタの接続部での接続損失  $IL$  は、前記出射パワー  $P_0$ 、前記出射パワー  $P_1$ 、光ファイバの伝送損失  $\alpha$  (dB/Km)、光コネクタの端面での反射損失  $\beta$  を用いて次式で表される。

(式 1)

$$IL(dB) = -10 \log \frac{P_1}{P_0} - \alpha - \beta$$

ここで、光コネクタの端面での反射は、通常 0.01% 以下であり、反射損失  $\beta$  は測定器の分解能以下となるため考えなくてもよい。また、シングルモード光ファイバの場合は、伝送損失  $\alpha$  は 0.35 dB/Km 以下である。従って、測定対象とする光コードの長さが 30 m 以下の場合は、伝送損失  $\alpha$  は測定器の分解能にほぼ等しい 0.01 dB 程度となるため無視して差し支えなく、30 m 以上の場合も光ファイバの伝送損失 ( $\alpha/m$ ) を予め測定もしくは計算しておけば、いずれの場合も数 1 より光コネクタの接続損失  $IL$  を簡単に求めることができる。

光コネクタにおける接続損失の要因としては、光ファイバのコア相互の軸ずれ、光ファイバ相互の角度ずれ、光コネクタ間の端面間隙、光ファイバ相互の構造不

一致等があるが、通常の単一モード光コネクタでは、光ファイバのコア間の軸ずれ（以下、「軸ずれ」と称する）が主要因である。

軸ずれの主要因は、フェルルール 1 の貫通孔 1 a の加工精度である。しかし、通常の単一モード光コネクタで要求される偏心量が約  $0.7 \mu\text{m}$  以下の領域では、貫通孔 1 a の偏心測定値と実際の接続損失値との間には殆ど相関は認められない。これは、光ファイバのコアの偏心と貫通孔 1 a の偏心とは必ずしも一致しないためである。即ち、光コネクタの貫通孔 1 a と、該貫通孔 1 a に挿入される光ファイバとの間には約  $1 \mu\text{m}$  程度のクリアランスが必要であり、更に、光ファイバ自身も外径中心に対してコアが僅かに偏心しているため、貫通孔 1 a に偏心がない場合であっても、軸ずれが生ずることがある。

ここで、光コネクタにおいて光ファイバ 3 のコアのフェルルール 1 の外周面の中心に対する偏心量を測定することにより、単一モード光ファイバの光コネクタ接続において、光ファイバ間の軸ずれ  $d$  による挿入損失  $IL$  (dB) は次式で与えられる。

(式 2)

$$IL_{\Delta}(\text{dB}) = -10 \log \left\{ \exp \left[ - (d/\omega)^2 \right] \right\}$$

ここで、 $\omega$  は光ファイバのモードフィールド半径である。この式を展開すると次式となる。

(式 3)

$$IL_{\Delta}(\text{dB}) = 4.34 (d/\omega)^2$$

ここで、 $\omega = 4.7 \mu\text{m}$  と仮定すると、光ファイバ間の軸ずれ  $d$  による挿入損失  $IL_{\Delta}$  (dB) は、軸ずれ  $d$  が  $0.5 \mu\text{m}$  の場合には約  $0.05 \text{ dB}$ 、 $1 \mu\text{m}$  で約  $0.20 \text{ dB}$ 、 $2 \mu\text{m}$  で約  $0.79 \text{ dB}$  になる。したがって、光ファイバ間の軸ずれが大きくなるにしたい、接続損失の変化量が増大する。

軸ずれによる接続損失の増大を抑える方法として、チューニングという接続方法がある。すべてのプラグに対して、あらかじめ一本のマスタと呼ばれるプラグとの接続試験を行ない、プラグを軸の周りに  $90$  度毎に回転して 4 方向の内で最も接続損失が小さくなる方向を見つけ、プラグのその方向に印をつける。そして、実際の接続の際には、その印同士が一致するように接続をする。このことにより、

接続される２本のプラグの軸ずれの方向は同じ９０度範囲に含まれることになる。これにより、軸ずれがある程度相殺されることになり、接続損失の増大を抑制できる。一般的なチューニングは同じ９０度範囲に入れることを目的としたものであり、４方向の内から１方向を選ぶので、ここではそれを４回チューニングと呼ぶことにする。よって、 $m$ を自然数として一般的に $(360/m)$ 度範囲に軸ずれを限定するチューニングを $m$ 回チューニングと呼ぶことにする。

次に、光ファイバ相互の角度ずれ（以下、「角度ずれ」と称する）の主要因はフェルルール１の貫通孔１ａの外周面１ｃに対する角度ずれである。ここで、光コネクタにおいて、光ファイバ３の出射角の外周面１ｃに対する角度ずれを $\theta$ とすると、挿入損失 $IL_{\theta}$ （dB）は次式で表される。

（式４）

$$IL_{\theta}(dB) = -10 \log \left\{ \exp \left[ - \left( \pi \theta \omega / \lambda \right)^2 \right] \right\}$$

ここで、 $n$ は光ファイバの屈折率であり、 $\lambda$ は真空中の光の波長を表す。ここで、 $n$ に光ファイバの一般的な屈折率１．４６を代入し展開すると次式となる。

（式５）

$$IL_{\theta}(dB) = 91.4 (\theta \omega / \lambda)^2$$

ここで、光ファイバ間の角度ずれ $\theta$ による挿入損失 $IL_{\theta}$ （dB）は、角度ずれ $\theta$ が $0.2^{\circ}$ の場合には約 $0.014$  dB、 $0.5^{\circ}$ の場合には約 $0.089$  dBとなり、角度ずれ $\theta$ が大きくなるにしたがい、接続損失の変化量が増大する。しかし、軸ずれ $d$ に対する接続損失に比べて影響が少ない。

上記数１及び数２より、図２１に示すように、軸ずれと角度ずれと接続損失を示したグラフが簡易的に用いられ、個別の光コネクタの角度ずれ及び軸ずれから大まかな接続損失を推定していた（研究実用化報告第３２巻第３号（１９８３）P 675、「単一モードファイバ用光回路」３．１項参照）。

ところが、従来の接続損失を推定する方式では、軸ずれはフェルルールの偏心量、フェルルールの貫通孔１ａと光ファイバの外径差及び光ファイバのコアの同芯度等が複雑に絡み合うために、光ファイバをフェルルールに接着固定した後の光ファイバのコアの位置が外周面の中心に対して、どれだけ偏心しているかを測定しなけ

ればならず、また、角度ずれについても同様に光ファイバをフェルールに接着固定した後の光ファイバの長手方向の角度が外周面に対して、どれだけ傾いているのかを、光を光ファイバの先端から出射させて出射角を測定してからでないと、接続損失を推定できなかった。

5       つまり、全てサンプルを実際に製造してそれから、測定しなければならなかったもので、サンプル作成上及び軸ずれ、角度ずれの測定上多大な工数を要した。

また、実際にサンプルを作成するのであれば、出射角や軸ずれを一々測定しなくとも、直接接続損失を測定すれば実測値を得ることが出来たが、いずれにしても接続損失を測定するために多大な工数を要した。

10       更には、従来の方法で測定した軸ずれおよび角度ずれは、光ファイバ及びフェルールの寸法パラメータが複雑に絡み合っているために、どのパラメータがどのように接続損失に影響を与えているかを類推することは困難であった。

#### 発明の開示

15       本発明の目的は、多大な工数と経費を要しないで、光コネクタの接続損失の分布データが容易に得られる光コネクタの接続損失計算方法及びそれを用いたシミュレータを提供することである。

20       本発明に係る光コネクタの接続損失計算方法は、長手方向に貫通孔を有するフェルールに光ファイバを挿入固定した光コネクタにおいて、少なくとも上記フェルールの寸法パラメータの分布データと、少なくとも上記光ファイバの寸法パラメータの分布データから軸ずれ量を計算し、該軸ずれ量から接続損失値を計算し、該接続損失値の分布をシミュレーションする。

25       本発明において、少なくともフェルールの寸法パラメータの分布データと、少なくとも光ファイバの寸法パラメータの分布データから、ランダムに特定のデータを抽出し、それらの組み合わせにより軸ずれ量を計算し、該軸ずれ量から接続損失値を計算し、該接続損失値のデータを複数得ることにより、接続損失値の分布をシミュレーションすることが好ましい。

また本発明において、上記接続損失計算シミュレータにおいて、フェルール貫通孔の外周部に対しての角度ずれである角度パラメータの分布データを組み合わ

せることが好ましい。

また本発明において、上記接続損失計算シミュレータにおいて、割スリーブの寸法パラメータもしくは角度パラメータの分布データ、または、割スリーブの接続損失値の分布データを組み合わせることが好ましい。

- 5       また本発明において、フェルールの内径と光ファイバ外径から生じる隙間と、フェルールの外周部と貫通孔との同芯度と、光ファイバのコアとクラッドとの同芯度から軸ずれ量を求めることが好ましい。

- 10       また本発明において、フェルールの内径と光ファイバ外径から生じる隙間と、フェルールの外周部と貫通孔との同芯度と、光ファイバのコアとクラッドとの同芯度から軸ずれ量を求めて単一のプラグの軸ずれ量とし、該単一のプラグの軸ずれ量のデータを2個と、フェルールの外径差による軸ずれを加味して求めたペア化した軸ずれ量から接続損失値を計算することにより、接続損失値の分布をシミュレーションすることが好ましい。

- 15       また本発明において、ペア化した軸ずれから算出した接続損失値と、ペア化した角度ずれから算出した接続損失値と、割スリーブの接続損失値を合計することにより総合接続損失値とすることにより、接続損失値の分布をシミュレーションすることが好ましい。

- 20       また本発明に係る光コネクタの接続損失計算方法は、円筒形の単心フェルールおよびそれに挿入する光ファイバの寸法パラメータの分布データから求まるそれぞれの軸ずれ量、および／またはフェルールの角度パラメータの分布データから求まる角度ずれ量を、光ファイバおよびフェルールの軸方向に垂直な面内のベクトル量として総和を計算することで、接続状態での軸ずれ量および／または角度ずれ量の分布を計算し、そこから接続損失分布を計算する。

- 25       即ち、本発明は、上記軸ずれ量、角度ずれ量のいずれか一方のみ、あるいは両方を用いて、これらのずれ量を軸方向に垂直な面内のベクトル量として総和を計算することが可能である。

また本発明において、フェルールの寸法パラメータの分布データと光ファイバの寸法パラメータの分布データから生ずる軸ずれ量分布、および／またはフェル

ールの角度パラメータの分布データから生ずる角度ずれ量分布を、ベクトルとして合成する際に、合成される2個の軸ずれベクトルまたは角度ずれベクトルの成す角を、合成した軸ずれベクトルまたは角度ずれベクトルの大きさに変数変換することが好ましい。

- 5        また本発明において、割スリーブの寸法パラメータもしくは角度パラメータの分布データ、または、割スリーブの接続損失値の分布データを組み合わせることが好ましい。

10        また本発明において、フェルールの内径と光ファイバ外径から生じる隙間と、フェルールの外周部と貫通孔との同芯度と、光ファイバのコアとクラッドとの同芯度から上記軸ずれ量を求めることが好ましい。

15        また本発明において、フェルールの内径と光ファイバ外径から生じる隙間の分布と、フェルールの外周部と貫通孔との同芯度の分布と、光ファイバのコアとクラッドとの同芯度の分布を、ベクトルとして合成して単一プラグの軸ずれ量分布とし、該単一プラグの軸ずれ量分布2個と、フェルールの外径差分布をベクトルとして合成することで算出したペア化した軸ずれ量分布から接続損失分布を計算することが好ましい。

      また本発明において、フェルール貫通孔の外周部に対する長手方向の傾きから上記角度ずれ量を求めることが好ましい。

20        また本発明において、フェルールの角度ずれ量分布2個を合成することで算出したペア化した角度ずれ量分布から接続損失分布を計算することが好ましい。

      また本発明において、ペア化した軸ずれから算出した接続損失値と、ペア化した角度ずれから算出した接続損失値と、割スリーブの接続損失値を合計することにより総合接続損失値とすることにより、接続損失値の分布を計算することが好ましい。

25

      また本発明に係る光コネクタの接続損失計算方法は、円筒形の単心フェルールおよびそれに挿入する光ファイバの寸法パラメータの分布データから求まるそれぞれの軸ずれ量、および／またはフェルールの角度パラメータの分布データから求まる角度ずれ量を、光ファイバおよびフェルールの軸方向に垂直な面内のベク

トル量として総和を計算することで、接続状態での軸ずれ量および／または角度ずれ量の $n$ 次モーメントを計算し、そこから接続損失値の $n$ 次モーメントを計算する。

即ち、本発明は、上記軸ずれ量、角度ずれ量のいずれか一方のみ、あるいは両方を用いて、これらのずれ量を軸方向に垂直な面内のベクトル量として総和を計算することが可能である。

また本発明において、接続損失の1次モーメントから平均値を、同1次モーメントと2次モーメントから標準偏差／分散を計算することが好ましい。

また本発明において、割スリーブの寸法パラメータもしくは角度パラメータの分布データ、または、割スリーブの接続損失値の分布データを組み合わせることが好ましい。

また本発明において、フェルールの内径と光ファイバ外径から生じる隙間と、フェルールの外周部と貫通孔との同芯度と、光ファイバのコアとクラッドとの同芯度から上記軸ずれ量を求めることが好ましい。

また本発明において、フェルールの内径と光ファイバ外径から生じる隙間の $n$ 次モーメントと、フェルールの外周部と貫通孔との同芯度の $n$ 次モーメントと、光ファイバのコアとクラッドとの同芯度の $n$ 次モーメントを、ベクトルとして合成して単一プラグの軸ずれ量の $n$ 次モーメントとし、該単一プラグの軸ずれ量の $n$ 次モーメント2個と、フェルールの外径差の $n$ 次モーメントをベクトルとして合成することで算出したペア化した軸ずれ量の $n$ 次モーメントから接続損失の $n$ 次モーメントを計算することが好ましい。

また本発明において、フェルール貫通孔の外周部に対する長手方向の傾きから上記角度ずれ量を求めることが好ましい。

また本発明において、フェルールの角度ずれ量の $n$ 次モーメント2個を合成することで算出したペア化した角度ずれ量の $n$ 次モーメントから接続損失の $n$ 次モーメントを計算することが好ましい。

また本発明において、ペア化した軸ずれから算出した接続損失値と、ペア化した角度ずれから算出した接続損失値と、割スリーブの接続損失値を合計することにより総合接続損失値とすることにより、接続損失値の $n$ 次モーメントを計算す



ることが好ましい。

また本発明に係る光コネクタの接続損失計算方法は、長手方向に貫通孔を有するフェルルールとそれに挿入された光ファイバから成る単一プラグの軸ずれの分布データと、フェルルールの外径の分布データから、単一プラグの軸ずれの方向を揃える手法であるチューニングを行なった場合の接続状態での軸ずれ量の $n$ 次モーメント（ $n$ 次積率）を計算し、そこから接続損失の $n$ 次モーメントを計算する。

本発明において、接続損失の1次モーメントから平均値を、同1次モーメントと2次モーメントから標準偏差／分散を計算することが好ましい。

また本発明において、割スリーブの寸法パラメータもしくは角度パラメータの分布データ、または、割スリーブの接続損失値の分布データを組み合わせることが好ましい。

また本発明において、フェルルールの内径と光ファイバ外径から生じる隙間と、フェルルールの外周部と貫通孔との同芯度と、光ファイバのコアとクラッドとの同芯度から上記軸ずれ量を求めることが好ましい。

また本発明において、フェルルール貫通孔の外周部に対する長手方向の傾きから上記角度ずれ量を求めることが好ましい。

また本発明において、フェルルールの角度ずれ量の $n$ 次モーメント2個を合成することで算出したペア化した角度ずれ量の $n$ 次モーメントから接続損失の $n$ 次モーメントを計算することが好ましい。

また本発明において、ペア化した軸ずれから算出した接続損失値と、ペア化した角度ずれから算出した接続損失値と、割スリーブの接続損失値を合計することにより総合接続損失値とすることにより、接続損失値の $n$ 次モーメントを計算することが好ましい。

さらに、本発明に係る光コネクタの接続損失計算方法シミュレータは、上記の光コネクタの接続損失計算方法のいずれか1つまたはそれ以上の組合せを用いて実現できる。

こうした手法を用いることによって、多大な工数と経費を要しないで、光コネ

クタの接続損失の分布データが容易に得られる。

#### 図面の簡単な説明

図 1 は、本発明の第 1 実施形態における接続損失計算シミュレータの動作を示すフローチャートである。

図 2 A は、単一プラグの軸ずれを説明する断面図であり、図 2 B は、図 2 A 中のフェルルールを端面方向から見た拡大図である。

図 3 A は、2 つのプラグを当接させてペア化した状態での軸ずれを説明する断面図であり、図 3 B は、フェルルール当接面での軸ずれを示す拡大図である。

図 4 A は、2 つのプラグを当接させてペア化した状態での角度ずれを説明する断面図であり、図 4 B は、角度ずれを極座標で表現した立体図である。

図 5 は、各パラメータの分布データからランダムに 1 個のデータを抽出する方法を説明する図である。

図 6 は、360° 方向の角度からランダムに 1 個のデータを抽出する方法を説明する図である。

図 7 は、複数データを組み合わせる方法を説明する図である。

図 8 は、第 1 実施形態の接続損失計算シミュレータを用いた結果を示すヒストグラムである。

図 9 は、本発明の第 2 実施形態における接続損失計算シミュレータの動作を示すフローチャートである。

図 10 は、寸法パラメータ分布を合成する方法を説明する図である。

図 11 は、軸ずれ接続損失分布と角度ずれ接続損失分布と割スリーブ接続損失分布を合算して、総合接続損失分布を計算する方法を説明する図である。

図 12 は、第 2 実施形態の接続損失計算シミュレータを用いた結果を示すヒストグラムである。

図 13 は、本発明の第 3 実施形態における接続損失計算シミュレータの動作を示すフローチャートである。

図 14 は、本発明の第 4 実施形態における接続損失計算シミュレータの動作を示すフローチャートである。

図 1 5 A は、2つのプラグを当接させ、チューニングしてペア化した状態での軸ずれを説明する断面図であり、図 1 5 B は、フェルルール当接面での軸ずれを示す拡大図である。

5 図 1 6 は、4回チューニングの場合に、寸法パラメータの  $n$  次モーメントを合成する方法を説明する図である。

図 1 7 A は、単一プラグの軸ずれ分布とフェルルール外径差分布を示し、図 1 7 B は、チューニングの回数と接続損失の平均値および標準偏差の関係を図示したグラフである。

図 1 8 は、一般的なプラグを示す断面図である。

10 図 1 9 は、一般的な光コネクタを示す断面図である。

図 2 0 A 及び図 2 0 B は、光コネクタの接続損失の測定方法を示す説明図である。

図 2 1 は、軸ずれと角度ずれと接続損失を表すグラフである。

## 15 発明を実施するための最良の形態

以下、図面を参照して本発明の実施形態を説明する。

### (実施形態 1)

20 本実施形態は、長手方向に貫通孔を有するフェルルールに光ファイバを挿入固定した光コネクタにおいて、少なくとも上記フェルルールの寸法パラメータの分布データと、少なくとも上記光ファイバの寸法パラメータの分布データから軸ずれ量を計算し、該軸ずれ量から接続損失値を計算し、該接続損失値の分布をシミュレーションする。

本発明の一例として、モンテカルロ法にて円筒形の単心フェルルールを用いた光コネクタの接続損失値の分布をシミュレーションする方法について図 1 に示す。

25 まず、予め用意した光ファイバ外径の分布データから 1 個のデータを抽出する。抽出方法は、乱数を発生させてデータの抽出を行う。乱数を用いることから、賭け事の街で有名なモナコのモンテカルロの名前がつけられている。具体的には、乱数表を用いるか、もしくはパーソナルコンピュータを用いて、例えばマイクロソフト社の表計算ソフトウェアである「E x c e l」での乱数発生関数 R A N D

() やRAND BETWEEN () を用いることにより、比較的容易に得ることが出来る。データの抽出方法の詳細については後述する。

次に、フェルール内径の分布のデータから上記同様にランダムに1個のデータを抽出する。ここで、フェルール先端面において光ファイバの外周面はフェルールの内周面に少なくとも1箇所必ず当接するので、フェルール内径と光ファイバ外径の隙間つまりフェルール内径から光ファイバ外径を引いた値の半値が軸ずれとなる。

次にフェルール同芯度の分布のデータから上記同様にランダムに1個のデータを抽出する。更には、光ファイバコア同芯度の分布のデータから上記同様にランダムに1個のデータを抽出する。

以上のフェルール内径から光ファイバ外径を引いた値の半値及びフェルール同芯度及び光ファイバコア同芯度から単一プラグの総軸ずれを計算する。

図2Aにおいて、貫通孔1aを有するフェルール1に光ファイバ保護具2が固定されており、光ファイバ3を光ファイバ保護具2の開口部から挿入固定してプラグ10が形成される。軸ずれは、フェルール先端面1bでの外周部1cの中心からの位置のずれを意味する。図2Bは、フェルール1を端面方向から見た拡大図である。

ここで、外周部1cの中心を $O_1$ とする。フェルールの貫通孔の中心を $O_2$ とすると、 $O_2$ の位置ずれが同芯度の半値となる。次に、光ファイバの中心位置が $O_3$ であり、 $O_2$ と $O_3$ の距離はフェルール内径から光ファイバ外径を引いた値の半値となる。更に、光ファイバコアの中心位置は $O_4$ となり、 $O_3$ と $O_4$ の距離は光ファイバコアの同芯度の半値となる。最終的に $O_1$ と $O_4$ の距離がフェルール外周部1cに対する総軸ずれ $d_T$ となる。

この様に、各パラメータにおける単一の軸ずれは軸ずれしている $360^\circ$ 方向の角度に依存するので、各パラメータにおける軸ずれが大きければ総軸ずれが大きくなるとは限らない。

以上により、単一プラグの軸ずれを求めたが、光コネクタとしては一對2個のプラグを当接させた条件で計算する必要がある、図3を用いてペア化した軸ずれの計算方法について説明する。

図3Aはフェルール1にフェルール1'が当接した状態を示しており、割スリーブ5によって先端面1bと1b'が接触している。

ここで図3Bに示すように、割スリーブ5のスリット5aの対向部5bの内周面がフェルール1とフェルール1'の位置基準点となり、大径のフェルール1'がスリット5aの方向へ位置ずれを生じることとなる。小径フェルール1の外周部の中心 $O_1$ に対する総軸ずれの中心を $O_4$ とし、大径フェルール1'の外周部の中心 $O_1'$ に対する総軸ずれの中心を $O_4$ としたときに、 $O_1$ と $O_1'$ の距離 $d_s$ 分スリット5aの方向へ位置ずれを生じる。ここで $O_1$ と $O_1'$ の距離 $d_s$ は大径フェルール1'の外径と小径フェルール1の外径との差の半値である。

従って、ペア化した最終的な軸ずれの中心は $O_5$ となり $O_4$ と $O_5$ との距離 $d_p$ がペア化した軸ずれとなる。

ここで、大径フェルール1'と小径フェルール1の外径は、図1に示す様にフェルール外径の分布データからランダムに抽出しておく。

次に、角度ずれであるが、これも上記同様に角度ずれの分布データから、ランダムに2個のデータを抽出して、ペア化した角度ずれを計算する。

図4Aはフェルール1、1'が割スリーブ5内部で先端面1b、1b'にて当接している状態の断面図であり、図4Bは角度ずれを極座標で表現した立体図である。

貫通孔1a、1a'は断面上、外周部1c、1c'に対して $\theta^\circ$ 、 $\theta'^\circ$ 傾いている。しかしながら、接触面を基準として $360^\circ$ 方向に $\phi$ 、 $\phi'$ 傾斜していることも考慮に入れる必要があり、最終的にフェルール1の角度ずれのベクトル $r$ とフェルール1'のベクトル $r'$ との相対的な角度がペア化した角度ずれとなる。

なお、本発明のシミュレータでは各パラメータの分布データの数が多ければ多いほど良い。データ数が少なければ出力される接続損失値の精度が悪くなるが、少なくとも32データ程あればよい。

ここで、分布データから乱数を用いて一様なランダムに1個のデータを抽出する方法について図5を用いて説明する。

データには1番からn番まで整数で連番をつけておく。この場合、データ $X_n$

は並べておく必要は特にない。次に乱数を発生させて  $i$  番目のデータ番号を抽出し、そのデータ  $X_i$  を抽出する。具体的には一例として、前出の表計算ソフト「E x c e l」では RANDBETWEEN (1、 $n$ ) の関数を与えて 1 ～  $n$  までの整数を発生させて、その得られた単一の乱数からデータの入力されている  $i$  番目のセルのデータを抽出することにより得ることが出来る。

次に、 $360^\circ$  方向の角度を乱数を用いて一様なランダムに 1 個のデータを抽出する方法について図 6 を用いて説明する。

角度は  $0^\circ \sim 359.9999 \dots^\circ$  までであるが、接続損失の計算上は  $1^\circ$  単位で十分なので、 $0 \sim 359^\circ$  として  $\delta^\circ$  を抽出する。これも前記同様に表計算ソフト「E x c e l」では RANDBETWEEN (0、359) の関数を与えて  $0 \sim 359$  までの整数を発生させて、その得られた単一の乱数を角度とすることにより得ることが出来る。

以上によりペア化した軸ずれとペア化した角度ずれを算出することができた。

次に図 1 に戻り説明するが、ペア化した軸ずれから数 3 より軸ずれによる接続損失値  $IL_\Delta$  を求める。更にはペア化した角度ずれから数 5 より角度ずれによる接続損失値  $IL_\theta$  を求める。そして、割スリーブの接続損失分布データから前記同様に乱数を発生させて 1 個の接続損失値  $IL_s$  を抽出する。

なお、割スリーブは接続損失分布データから乱数を発生させて接続損失値  $IL_s$  を抽出するとしているが、割スリーブの寸法の分布データからランダムにデータを抽出して接続損失を算出する方法を用いてもよい。

以上の軸ずれによる接続損失値  $IL_\Delta$  と角度ずれによる接続損失値  $IL_\theta$  と割スリーブの接続損失値  $IL_s$  を合計したものが、トータル接続損失となる。該トータル接続損失はペア化した一对のフェルールの組み合わせなので、次に上記同様に複数の接続損失値を計算する。これらの複数の接続損失値から分布データを

接続損失の分布データを求める方法は図 7 に示すようにプラグのサンプル数を  $n$  個として、各プラグのフェルールの内径、同芯度、外径、角度ずれ、光ファイバの同芯度、外径の 6 パラメータをランダムに抽出しておき、総当りで組み合わせる方法である。各組み合わせにおいて、割スリーブの接続損失値はランダムに

抽出して加算していく。

例えば、サンプル1とサンプル2では接続損失値を $X_{12}$ とし、サンプル1とサンプル $i$ では接続損失値を $X_{1i}$ 、サンプル $n-1$ とサンプル $n$ とでは接続損失値を $X_{n-1n}$ として、総数量が $0.5 \times (n^2 - n)$ のデータから、各データの  
5 平均値、ばらつき、最大値を求めて分布データとしてまとめ、更にはそれをヒストグラム化することが望ましい。

なお、最大値はシミュレーション上は、確率の僅かなところまで算出されてくる可能性があるので、現実的な値とはならない。そこでIEC 61755-2-1で規定されているように97%最大値を用いることでもよい。

10 本発明の接続損失のデータ数は少なくとも100個のデータがあることが望ましく、特に望ましくは500個以上のデータがあることがよい。これは、データ数が多ければ多いほど、ヒストグラム化した際に滑らかな曲線の分布とすることが出来るからである。

また、上記総当り方式でなくとも、IEC 61300-3-34に規定されているような、両端にプラグを有した10本のパッチコードと、割スリーブを有した10個のアダプタを用いて、パッチコードとアダプタとで10組とした各組み合わせにより、総数量が380個のデータを求めて、各データの平均値、ばらつき、最大値を求めて分布データとしてまとめる方法1を用いてもよい。

更に、IEC 61300-3-34の方法2に規定されているように、両端に  
20 プラグを有した10本のパッチコードと、アダプタとパッチコードを一对としたに5本のリファレンスプラグを用いて、総数量が100個のデータを求めて、各データの平均値、ばらつき、最大値を求めて分布データとしてまとめる方法を用いてもよい。

以上、モンテカルロ法を用いた例で説明してきたが、モンテカルロ法に限ることなくフェルールを有した光コネクタの少なくともフェルールの寸法パラメータ  
25 の分布データと、少なくとも光ファイバの寸法パラメータの分布データから軸ずれ量を計算し、該軸ずれ量から接続損失値を計算し、該接続損失値の分布をシミュレーションする方法であれば、いかなる方法を用いてもよく、本発明の効果である、多大な工数と経費を要しないで容易に接続損失の分布データを得ることが

出来る。

また、上記説明は本発明の一例として円筒形の単心フェルールを用いて説明したが、これに限ることはなく、円筒形の多心フェルールに用いることでもよいし、また矩形のフェルールに用いることでも、本発明の同等の効果を奏することができる。

光コネクタの接続損失を小さくするために、軸ずれの方向をある一定方向に合わせこむ、調芯技術が導入されているが、本発明の光コネクタの接続損失計算方法を用いることも可能である。

なお、本発明の光コネクタの接続損失計算シミュレータは、上記説明した光コネクタの接続損失計算方法を用いたシミュレーションソフトウェアであり、更には該シミュレーションソフトウェアをインストールしたパーソナルコンピュータ等の機器をいう。

前記、パーソナルコンピュータの総合型表計算ソフト「Excel」で作成する方法が、簡便、低価格でしかももっとも一般的に使い慣れた方法であるために特に望ましいが、Basic、Fortran、C言語等を用いて作成することでも、同様に本発明の効果を奏することができる。

本発明の光コネクタの接続損失計算方法及びそれを用いたシミュレータは、シングルモード光ファイバで説明してきたが、マルチモード用光ファイバにも適用することができる。

以下、本発明の実施例を説明する。

図1に示す本発明の光コネクタの接続損失計算シミュレータを用いて、フェルール内径を $\phi 152.2 \sim 125.7 \mu\text{m}$ 、同芯度を $0 \sim 0.8 \mu\text{m}$ 、外径を $\phi 2.4989 \sim 2.4992 \text{mm}$ 、角度ずれを $0.02 \sim 0.14^\circ$ 、光ファイバの同芯度を $0 \sim 0.4 \mu\text{m}$ 、外径を $124.8 \sim 125.3 \mu\text{m}$ の分布データとして、シミュレーションを行った。図7の方法にて、50個のプラグとして、総当りで1,225個の接続損失のデータ数を得た後、ヒストグラムを描いた。

そのヒストグラムを図8に示す。

ここで、ヒストグラムの縦軸をデータ総数2475で除した確率で示した。

以上より、接続損失値の平均値が $0.154 \text{dB}$ 、ばらつきが $0.096 \text{dB}$ 、



最大値が0.68 dB、97%最大値が0.37 dBという結果となった。

次に比較として、上記シミュレータにて使用した分布データをもつフェルール内径を $\phi 152.2 \sim 125.7 \mu\text{m}$ 、同芯度を $0 \sim 0.8 \mu\text{m}$ 、外径を $\phi 2.4989 \sim 2.4992 \text{ mm}$ 、角度ずれを $0.02 \sim 0.14^\circ$ 、光ファイバの同芯度を $0 \sim 0.4 \mu\text{m}$ 、外径を $124.8 \sim 125.3 \mu\text{m}$ の分布データをもつサンプルを50個作成して、接続損失を図20Aおよび図20Bに示す方法にて実測し、図7の方法にて、総当りで1,225個の接続損失のデータ数を得た。

このとき、研磨後損失測定前のフェルール先端面は光学顕微鏡にてごみ、きず等のなきことを確認してから測定した。

その結果は、接続損失の平均値が0.163 dB、ばらつきが0.112 dB、最大値が0.64 dBとなった。

以上より、本発明のフェルールの寸法パラメータの分布データと、少なくとも光ファイバの寸法パラメータの分布データから軸ずれ量を計算し、該軸ずれ量から接続損失値を計算し、該接続損失値の分布をシミュレーションする方法は、サンプルを作成し接続損失を実測する方法とほぼ同等の値が得られることが確認できた。

なお、所要時間は、本発明はデータ入力を含めて数十分であったのに対して、比較例の実測する方法では、サンプル作成、測定、データまとめ含めて数十時間かかり、本発明では多大な工数と経費を要しないで容易に接続損失の分布データを得ることが出来た。

#### (実施形態2)

本実施形態は、長手方向に貫通孔を有するフェルールおよびそれに挿入する光ファイバの寸法パラメータの分布データから求まるそれぞれの軸ずれ量、および/またはフェルールの角度パラメータの分布データから求まる角度ずれ量を、光ファイバおよびフェルールの軸方向に垂直な面内のベクトル量として総和を計算することで、接続状態での軸ずれ量ならびに角度ずれ量の分布を計算し、そこから接続損失分布を計算する。

本発明の一例として、確率変数変換法にて接続損失値の分布をシミュレーションする方法について図9に示す。

まず、光ファイバ外径の分布データとフェルール内径の分布のデータから、光ファイバとフェルールの隙間の半値の分布データに変換する。フェルール先端面において光ファイバの外周面はフェルールの内周面に少なくとも1箇所必ず当接するので、フェルール内径と光ファイバ外径の隙間つまりフェルール内径から光ファイバ外径を引いた値の半値が軸ずれとなる。

次にフェルール同芯度の分布のデータと光ファイバコア同芯度の分布のデータを用意する。

以上のフェルール内径から光ファイバ外径を引いた値の半値の分布及びフェルール同芯度分布及び光ファイバコア同芯度分布から単一プラグの総軸ずれ分布を計算する。

図2Aに示したように、貫通孔1aを有するフェルール1に光ファイバ保護具2が固定されており、光ファイバ3を光ファイバ保護具2の開口部から挿入固定してプラグ10が形成される。軸ずれは、図2Bに示したように、フェルール先端面1bでの外周部1cの中心からの位置のずれを意味する。

ここで、外周部1cの中心を $O_1$ とする。フェルールの貫通孔の中心を $O_2$ とすると、 $O_2$ の位置ずれが同芯度の半値となる。次に、光ファイバの中心位置が $O_3$ であり、 $O_2$ と $O_3$ の距離はフェルール内径から光ファイバ外径を引いた値の半値となる。更に、光ファイバコアの中心位置は $O_4$ となり、 $O_3$ と $O_4$ の距離は光ファイバコアの同芯度の半値となる。最終的に $O_1$ と $O_4$ の距離がフェルール外周部1cに対する総軸ずれ $d_T$ となる。

この様に、各パラメータにおける単一の軸ずれは軸ずれしている方向がランダムなので、各パラメータにおける軸ずれが大きければ総軸ずれが大きくなるとは限らない。

以上により、単一プラグの軸ずれを求めたが、光コネクタとしては一對2個のプラグを当接させた条件で計算する必要がある、図3を用いてペア化した軸ずれの計算方法について説明する。

図3Aに示したように、フェルール1にフェルール1'が当接した状態を示

しており、割スリーブ5によって先端面1bと1b'が接触している。

ここで、図3Bに示したように、割スリーブ5のスリット5aの対向部5bの内周面がフェルール1とフェルール1'の位置基準点となり、大径のフェルール1'がスリット5aの方向へ位置ずれを生じることとなる。小径フェルール1の外周部の中心 $O_1$ に対する総軸ずれの中心を $O_4$ とし、大径フェルール1'の外周部の中心 $O_1'$ に対する総軸ずれの中心を $O_4$ としたときに、 $O_1$ と $O_1'$ の距離 $d_s$ 分スリット5aの方向へ位置ずれを生じる。ここで $O_1$ と $O_1'$ の距離 $d_s$ は大径フェルール1'の外径と小径フェルール1の外径との差の半値である。

従って、ペア化した最終的な軸ずれの中心は $O_5$ となり $O_4$ と $O_5$ との距離 $d_p$ がペア化した軸ずれとなる。

ここで、大径フェルール1'と小径フェルール1の外径は、図9に示す様にフェルール外径の分布データからランダムに抽出しておく。

次に、角度ずれであるが、これも上記同様に単一フェルールの角度ずれの分布データから、ペア化した角度ずれ分布を計算する。

図4Aに示したように、フェルール1、1'が割スリーブ5内部で先端面1b、1b'にて当接しており、貫通孔1a、1a'は断面上 $\theta^\circ$ 、 $\theta'^\circ$ 傾いている。しかしながら、接触面内の角度方向に $\phi$ 、 $\phi'$ 傾斜していることも考慮に入れる必要があり、最終的にフェルール1の角度ずれのベクトル $r$ とフェルール1'のベクトル $r'$ との相対的な角度がペア化した角度ずれとなる。

ここで、2個の寸法パラメータ分布データを、その2個の寸法パラメータのなす角を考慮して合成する方法について説明する。

図10は寸法パラメータ1のベクトルと寸法パラメータ2のベクトルが合成されて寸法パラメータ3のベクトルが生成されるということを示している。ベクトルの向きに関してはランダムであるから、なす角度 $\theta$ は0～180度の範囲に一樣分布している。よって、寸法パラメータ1、2、なす角 $\theta$ はいずれも分布を持っている。寸法パラメータ3の大きさは、三角関数の余弦定理を使えば寸法パラメータ1、2、なす角 $\theta$ で表される。寸法パラメータ1と2の合成とは、寸法パラメータ1、2、なす角 $\theta$ を独立な確率変数とした確率分布を、合成された寸法パラメータ3を唯一確率変数とする分布に変換することに他ならない。つまり、

寸法パラメータ 1、2、なす角  $\theta$  の計 3 確率変数を寸法パラメータ 3 に変換することで分布が求まる。

2 個の角度パラメータ分布データを、その 2 個の角度パラメータのなす角を考慮して合成する場合にもこの方法を用いる。

5      以上によりペア化した軸ずれ分布とペア化した角度ずれ分布を算出することができた。

次に図 9 に戻り説明するが、ペア化した軸ずれ分布から数 3 より軸ずれによる接続損失値分布を求める。更にはペア化した角度ずれ分布から数 5 より角度ずれによる接続損失値分布を求める。

10      以上の軸ずれによる接続損失値分布と角度ずれによる接続損失値分布と、割スリーブの接続損失分布を合計して総合接続損失分布が算出できる。具体的に次のようにする。異なる要因を含んだ接続損失は、それら一つ一つが十分に低損失な場合、個々の要因による接続損失を足し合わせるだけでよい。よって、総合接続損失は、軸ずれによる接続損失と角度ずれによる接続損失と割スリーブの接続損失の和であるといえる。このことは、軸ずれによる接続損失を  $IL_{\Delta}$  ; 角度ずれによる接続損失を  $IL_{\theta}$  ; 割スリーブの接続損失を  $IL_{sl}$  ; 総合接続損失を  $IL$  とすると、次の式で表される。

(式 6)

$$IL = IL_{\Delta} + IL_{\theta} + IL_{sl}$$

20      但し、接続損失はいずれも非負である。実際のデータとしては、接続損失は連続変数ではなく離散変数である。よって、非負の整数  $i$ 、 $j$ 、 $k$ 、 $n$  を用いて、例えば 0.01 dB を単位として、軸ずれによる接続損失を  $i$  ; 角度ずれによる接続損失を  $j$  ; 割スリーブの接続損失を  $k$  ; 総合接続損失を  $n$  と表す。また、それらの確率をそれぞれ、 $P_{\Delta}(i)$  ;  $P_{\theta}(j)$  ;  $P_{sl}(k)$  ;  $P(n)$  と表す。

25      これらの確率は、それぞれの接続損失確率分布中のヒストグラムの高さであり、非負の整数  $i$ 、 $j$ 、 $k$ 、 $n$  はそのヒストグラムのラベルである。よって、数 6 を離散化して以下の式になる。

(式 7)

$$n = i + j + k$$

幾何学的には図 1 1 に示すように、数 7 は  $i$ 、 $j$ 、 $k$  軸上の値  $n$  の点を結んでできる三角形に含まれる座標 ( $i$ 、 $j$ 、 $k$ ) の満たす方程式である。一方、軸ずれによる接続損失が  $i$  であり、かつ角度ずれによる接続損失が  $j$  であり、かつ割スリーブの接続損失が  $k$  である確率は  $P_{\Delta}(i) \times P_{\theta}(j) \times P_{sl}(k)$  である。よって、数 7 を満たすすべての  $i$ 、 $j$ 、 $k$  の組が総合接続損失を  $n$  にするので、総合接続損失が  $n$  になる確率  $P(n)$  は、数 7 を満たすすべての  $i$ 、 $j$ 、 $k$  の組に関して  $P_{\Delta}(i) \times P_{\theta}(j) \times P_{sl}(k)$  の和を計算することで得られる。これは次式で与えられる。

(式 8)

$$P(n) = \sum_i \sum_j \sum_k P_{\Delta}(i) P_{\theta}(j) P_{sl}(k)$$

この総合接続損失分布を用いると、総合接続損失の平均値、ばらつき、最大値が計算できる。なお、最大値はシミュレーション上は、確率の僅かなところまで算出されてくる可能性があるので、現実的な値とはならない。そこで I E C 6 1 7 5 5 - 2 - 1 で規定されているように 9 7 % 最大値を用いることでもよい。

本発明で使用する寸法パラメータのデータ数は少なくとも 1 0 個のデータがあることが望ましく、特に望ましくは 1 0 0 個以上のデータがあることがよい。これは、データ数が多ければ多いほど、ヒストグラム化した際に滑らかな曲線の分布とすることができるからである。

また、寸法パラメータのデータ刻みは  $0.1 \mu m$  以下であることが望ましく、特に望ましくは  $0.05 \mu m$  以下であることがよい。これは、データ刻みが小さいければ小さいほど、連続確率分布に近いヒストグラムを生成できるからである。

なお、以上の実施形態では軸ずれ量と角度ずれ量の両方を用いて接続損失を計算したが、例えば軸ずれ量に比べて角度ずれ量が非常に小さい場合は軸ずれ量のみで接続損失を計算することも可能であり、その逆の場合は角度ずれ量のみで計算することも可能である。

以上、確率変数の変換法を用いた例で説明してきたが、確率変数変換法に限ることなくフェルールを有した光コネクタの少なくともフェルールの寸法パラメータの分布データと、少なくとも光ファイバの寸法パラメータの分布データから軸

ずれ量分布を計算し、そこから該接続損失値の分布を計算する方法であれば、いかなる方法を用いてもよく、本発明の効果である、多大な工数と経費を要しないで容易に接続損失の分布データを得ることが出来る。

5 光コネクタの接続損失を小さくするために、軸ずれの方向をある一定方向に合わせこむ、調芯技術が導入されているが、本発明の光コネクタの接続損失計算方法を用いることも可能である。

本発明では、上記光コネクタの接続損失計算方法を用いてシミュレーションソフトウェアとすることが可能である。

10 前記、パーソナルコンピュータの総合型表計算ソフト「Excel」で作成する方法が、簡便、低価格でしかももつとも一般的に使い慣れた方法であるために特に望ましいが、Basic、Fortran、C言語等を用いて作成することでも、同様に本発明の効果を奏することができる。

15 本発明の光コネクタの接続損失計算方法及びそれを用いたシミュレータは、シングルモード光ファイバで説明してきたが、マルチモード用光ファイバにも適用することができる。

以下、本発明の実施例を説明する。

20 図9に示す本発明の光コネクタの接続損失計算シミュレータを用いて、フェルール内径を $\phi 125.2 \sim 125.7 \mu\text{m}$ 、同芯度を $0 \sim 0.8 \mu\text{m}$ 、外径を $\phi 2.4989 \sim 2.4992 \text{mm}$ 、角度ずれを $0.02 \sim 0.14^\circ$ 、光ファイバの同芯度を $0 \sim 0.4 \mu\text{m}$ 、外径を $124.8 \sim 125.3 \mu\text{m}$ の分布データとして、シミュレーションを行った。

その総合接続損失確率分布ヒストグラムを図12に示す。

以上より、接続損失値の平均値が $0.089 \text{dB}$ 、 $97\%$ 最大値が $0.276 \text{dB}$ という結果となった。

25 次に比較として、上記シミュレータにて使用した分布データをもつフェルール内径を $\phi 125.2 \sim 125.7 \mu\text{m}$ 、同芯度を $0 \sim 0.8 \mu\text{m}$ 、外径を $\phi 2.4989 \sim 2.4992 \text{mm}$ 、角度ずれを $0.02 \sim 0.14^\circ$ 、光ファイバの同芯度を $0 \sim 0.4 \mu\text{m}$ 、外径を $124.8 \sim 125.3 \mu\text{m}$ の分布データをもつサンプルを50個作成して、接続損失を図20Aおよび図20Bに示す方法

にて実測し、総当りで1, 225個の接続損失のデータ数を得た。

このとき、研磨後損失測定前のフェルール先端面は光学顕微鏡にてごみ、きず等のなきことを確認してから測定した。

その結果は、接続損失の平均値が0.085 dB, 97%最大値が0.200 dBとなった。

以上より、本発明のフェルールおよび光ファイバの寸法パラメータの分布データから求まるそれぞれの軸ずれ量、ならびにフェルールの角度パラメータの分布データから求まる角度ずれ量を、光ファイバおよびフェルールの軸方向に垂直な面内のベクトル量として総和を計算することで、接続状態での軸ずれ量ならびに角度ずれ量の分布を計算し、そこから接続損失分布を計算する方法は、サンプルを作成し接続損失を実測する方法とほぼ同等の値が得られることが確認できた。

なお、所要時間は、本発明はデータ入力を含めて数十分であったのに対して、比較例の実測する方法では、サンプル作成、測定、データまとめ含めて数十時間かかり、本発明では多大な工数と経費を要しないで容易に接続損失の分布データを得ることが出来た。

### (実施形態3)

本実施形態は、長手方向に貫通孔を有するフェルールおよびそれに挿入する光ファイバの寸法パラメータの分布データから求まるそれぞれの軸ずれ量、および/またはフェルールの角度パラメータの分布データから求まる角度ずれ量を、光ファイバおよびフェルールの軸方向に垂直な面内のベクトル量として総和を計算することで、接続状態での軸ずれ量ならびに角度ずれ量のn次モーメントを計算し、そこから接続損失のn次モーメントを計算する。離散確率変数x(i)のn次モーメントは、その確率分布P(i)を用いて次の式で表される。

(式9)

$$\sum_i P(i)x(i)^n$$

1次モーメントは、次の式であらわされるように平均値である。

(式10)

$$\sum_i P(i)x(i)$$

また、2次モーメントと1次モーメントを利用して、次の式のように分散を表すことができる。

(式 1 1)

$$\sum_i P(i)x(i)^2 - \left\{ \sum_i P(i)x(i) \right\}^2$$

このように、n次モーメントを用いれば確率分布の平均値や分散を計算できる。具体的には、接続損失の平均値を求めるには接続損失の1次モーメント、分散を求めるには接続損失の1次モーメント及び2次モーメントが必要である。一方、接続損失自体は軸ずれ量や角度ずれ量の2乗に比例する。よって、接続損失の平均値を求めるには、それらずれ量の2次モーメント及び4次モーメントが必要である。但し、より一般的な光コネクタ接続法も考慮するとずれ量の1～4次モーメントすべて必要である。

本発明の一例として、接続損失値のn次モーメントをシミュレーションする方法について図13に示す。

まず、光ファイバ外径の分布データとフェルルール内径の分布のデータから、光ファイバとフェルルールの隙間の半値の分布データに変換する。フェルルール先端面において光ファイバの外周面はフェルルールの内周面に少なくとも1箇所必ず当接するので、フェルルール内径と光ファイバ外径の隙間つまりフェルルール内径から光ファイバ外径を引いた値の半値が軸ずれとなる。

次にフェルルール同芯度の分布のデータと光ファイバコア同芯度の分布のデータを用意する。

以上のフェルルール内径から光ファイバ外径を引いた値の半値の分布及びフェルルール同芯度分布及び光ファイバコア同芯度分布から単一プラグの総軸ずれのn次モーメントを計算する。

さらに、単一プラグの軸ずれのn次モーメント2個及びフェルルールの外径差のn次モーメントから、ペア化された軸ずれのn次モーメントを計算する。

図2Aに示したように、貫通孔1aを有するフェルルール1に光ファイバ保護具



2が固定されており、光ファイバ3を光ファイバ保護具2の開口部から挿入固定してプラグ10が形成される。軸ずれは、図2Bに示したように、フェルール先端面1bでの外周部1cの中心からの位置のずれを意味する。

ここで、外周部1Cの中心を $O_1$ とする。フェルールの貫通孔の中心を $O_2$ とすると、 $O_2$ の位置ずれが同芯度の半値となる。次に、光ファイバの中心位置が $O_3$ であり、 $O_2$ と $O_3$ の距離はフェルール内径から光ファイバ外径を引いた値の半値となる。更に、光ファイバコアの中心位置は $O_4$ となり、 $O_3$ と $O_4$ の距離は光ファイバコアの同芯度の半値となる。最終的に $O_1$ と $O_4$ の距離がフェルール外周部1cに対する総軸ずれ $d_T$ となる。

この様に、各パラメータにおける単一の軸ずれは軸ずれしている方向がランダムなので、各パラメータにおける軸ずれが大きければ総軸ずれが大きくなるとは限らない。

以上により、単一プラグの軸ずれを求めたが、光コネクタとしては一對2個のプラグを当接させた条件で計算する必要がある、図3を用いてペア化した軸ずれの計算方法について説明する。

図3Aに示したように、フェルール1にフェルール1'が当接した状態を示しており、割スリーブ5によって先端面1bと1b'が接触している。

ここで、図3Bに示したように、割スリーブ5のスリット5aの対向部5bの内周面がフェルール1とフェルール1'の位置基準点となり、大径のフェルール1'がスリット5aの方向へ位置ずれを生じることとなる。小径フェルール1の外周部の中心 $O_1$ に対する総軸ずれの中心を $O_4$ とし、大径フェルール1'の外周部の中心 $O_1'$ に対する総軸ずれの中心を $O_4$ としたときに、 $O_1$ と $O_1'$ の距離 $d_s$ 分スリット5aの方向へ位置ずれを生じる。ここで $O_1$ と $O_1'$ の距離 $d_s$ は大径フェルール1'の外径と小径フェルール1の外径との差の半値である。

従って、ペア化した最終的な軸ずれの中心は $O_5$ となり $O_4$ と $O_5$ との距離 $d_p$ がペア化した軸ずれとなる。

次に、角度ずれであるが、これも上記同様に単一フェルールの角度ずれの分布データから、ペア化した角度ずれのn次モーメントを計算する。

図4Aに示したように、フェルール1、1'が割スリーブ5内部で先端面1

b、 $1b'$ にて当接しており、貫通孔 $1a$ 、 $1a'$ は断面上 $\theta^\circ$ 、 $\theta'^\circ$ 傾いている。しかしながら、接触面内の角度方向に $\phi$ 、 $\phi'$ 傾斜していることも考慮に入れる必要があり、最終的にフェルール1の角度ずれのベクトル $r$ とフェルール $1'$ のベクトル $r'$ との相対的な角度がペア化した角度ずれとなる。

- 5       ここで、2個の寸法パラメータの $n$ 次モーメントを、その2個の寸法パラメータのなす角を考慮して合成する方法について説明する。

図10に示したように、寸法パラメータ1のベクトルと寸法パラメータ2のベクトルが合成されて寸法パラメータ3のベクトルが生成される。ベクトルの向きに関してはランダムであるから、なす角度 $\theta$ は $0 \sim 180$ 度の範囲に一様分布している。寸法パラメータ3の大きさは、三角関数の余弦定理を使えば寸法パラメータ1、2、なす角 $\theta$ で表される。よって、寸法パラメータ3の $n$ 次モーメントも、寸法パラメータ1、2、なす角 $\theta$ とその確率分布を用いて表すことができる。これをなす角 $\theta$ で積分してしまえば、寸法パラメータ3の $n$ 次モーメントは、寸法パラメータ1と2の $n$ 次モーメントのみで表される。

- 10       2個の角度パラメータの $n$ 次モーメントを、その2個の角度パラメータのなす角を考慮して合成する場合にもこの方法を用いる。

以上によりペア化した軸ずれの $n$ 次モーメントとペア化した角度ずれの $n$ 次モーメントを算出することができた。

- 次に図13に戻り説明するが、ペア化した軸ずれの $n$ 次モーメントから数3より軸ずれによる接続損失値の $n$ 次モーメントを求める。更にはペア化した角度ずれの $n$ 次モーメントから数5より角度ずれによる接続損失値の $n$ 次モーメントを求める。

- 以上の軸ずれによる接続損失値の $n$ 次モーメントと角度ずれによる接続損失値の $n$ 次モーメントと、割スリーブの接続損失の $n$ 次モーメントを合計して総合接続損失の $n$ 次モーメントが算出できる。具体的に次のようにする。例として1次モーメント、すなわち平均値の場合に関して解説する。異なる要因を含んだ接続損失は、それら一つ一つが十分に低損失な場合、個々の要因による接続損失を足し合わせるだけでよい。よって、総合接続損失は、軸ずれによる接続損失と角度ずれによる接続損失と割スリーブの接続損失の和であるといえる。このことは、

軸ずれによる接続損失を  $IL_{\Delta}$  ; 角度ずれによる接続損失を  $IL_{\theta}$  ; 割スリーブの接続損失を  $IL_{sl}$  ; 総合接続損失を  $IL$  とすると、次の式で表される。

(式 1 2)

$$IL = IL_{\Delta} + IL_{\theta} + IL_{sl}$$

- 5      但し、接続損失はいずれも非負である。また、それらの 1 次モーメント、すなわち平均値をそれぞれ、 $\langle IL_{\Delta} \rangle$  ;  $\langle IL_{\theta} \rangle$  ;  $\langle IL_{sl} \rangle$  ;  $\langle IL \rangle$  と表す。軸ずれ、角度ずれ、割スリーブの接続損失は独立なので、総合接続損失の 1 次モーメント、すなわち平均値は次の式で表される。

(式 1 3)

10       $\langle IL \rangle = \langle IL_{\Delta} \rangle + \langle IL_{\theta} \rangle + \langle IL_{sl} \rangle$

本発明で使用する寸法パラメータのデータ数は少なくとも 10 個のデータがあることが望ましく、特に望ましくは 100 個以上のデータがあることがよい。これは、データ数が多ければ多いほど、寸法パラメータのヒストグラムを滑らかな確率分布とすることができるからである。

- 15      また、寸法パラメータのデータ刻みは  $0.1 \mu m$  以下であることが望ましく、特に望ましくは  $0.05 \mu m$  以下であることがよい。これは、データ刻みが小さければ小さいほど、高精度の n 次モーメントを計算できるからである。

- 20      なお、以上の実施形態では軸ずれ量と角度ずれ量の両方を用いて接続損失を計算したが、例えば軸ずれ量に比べて角度ずれ量が非常に小さい場合は軸ずれ量のみで接続損失を計算することも可能であり、その逆の場合は角度ずれ量のみで計算することも可能である。

光コネクタの接続損失を小さくするために、軸ずれの方向をある一定方向に合わせこむ、調芯技術が導入されているが、本発明の光コネクタの接続損失計算方法を用いることも可能である。

- 25      本発明では、上記光コネクタの接続損失計算方法を用いてシミュレーションソフトウェアとすることが可能である。

前記、パーソナルコンピュータの総合型表計算ソフト「Excel」で作成する方法が、簡便、低価格でしかももっとも一般的に使い慣れた方法であるために特に望ましいが、Basic、Fortran、C 言語等を用いて作成すること

でも、同様に本発明の効果を奏することができる。

本発明の光コネクタの接続損失計算方法及びそれを用いたシミュレータは、シングルモード光ファイバで説明してきたが、マルチモード用光ファイバにも適用することができる。

5       以下本発明の実施例を説明する。

図13に示す本発明の光コネクタの接続損失計算シミュレータを用いて、フェルルール内径を $\phi 125.2 \sim 125.7 \mu\text{m}$ 、同芯度を $0 \sim 0.8 \mu\text{m}$ 、外径を $\phi 2.4989 \sim 2.4992 \text{mm}$ 、角度ずれを $0.02 \sim 0.14^\circ$ 、光ファイバの同芯度を $0 \sim 0.4 \mu\text{m}$ 、外径を $124.8 \sim 125.3 \mu\text{m}$ の分布データとして、シミュレーションを行った。

以上より、接続損失値の平均値が $0.089 \text{ dB}$ という結果となった。

次に比較として、上記シミュレータにて使用した分布データをもつフェルルール内径を $\phi 125.2 \sim 125.7 \mu\text{m}$ 、同芯度を $0 \sim 0.8 \mu\text{m}$ 、外径を $\phi 2.4989 \sim 2.4992 \text{mm}$ 、角度ずれを $0.02 \sim 0.14^\circ$ 、光ファイバの同芯度を $0 \sim 0.4 \mu\text{m}$ 、外径を $124.8 \sim 125.3 \mu\text{m}$ の分布データをもつサンプルを50個作成して、接続損失を図20Aおよび図20Bに示す方法にて実測し、総当りで1,225個の接続損失のデータ数を得た。

このとき、研磨後損失測定前のフェルルール先端面は光学顕微鏡にてごみ、きず等のなきことを確認してから測定した。

20       その結果は、接続損失の平均値が $0.085 \text{ dB}$ となった。

以上より、本発明のフェルルールおよび光ファイバの寸法パラメータの分布データから求まるそれぞれの軸ずれ量、ならびにフェルルールの角度パラメータの分布データから求まる角度ずれ量を、光ファイバおよびフェルルールの軸方向に垂直な面内のベクトル量として総和を計算することで、接続状態での軸ずれ量ならびに角度ずれ量の $n$ 次モーメントを計算し、そこから接続損失の $n$ 次モーメントを計算する方法は、サンプルを作成し接続損失を実測する方法とほぼ同等の値が得られることが確認できた。

なお、所要時間は、本発明はデータ入力を含めて数十分であったのに対して、比較例の実測する方法では、サンプル作成、測定、データまとめ含めて数十時間

かかり、本発明では多大な工数と経費を要しないで容易に接続損失の分布データを得ることが出来た。

(実施形態4)

- 5       本実施形態は、長手方向に貫通孔を有するフェルルールとそれに挿入された光ファイバから成る単一プラグの軸ずれの分布データと、フェルルールの外径の分布データから、単一プラグの軸ずれの方向を揃える手法であるチューニングを行なった場合の接続状態での軸ずれ量のn次モーメント（n次積率）を計算し、そこから接続損失のn次モーメントを計算する。単一プラグの軸ずれ分布データは、  
10       フェルルールの内径と光ファイバ外径から生ずる隙間の分布と、フェルルール外周部と貫通孔との同芯度の分布と、光ファイバのコアとクラッドとの同芯度の分布からもとめる。

離散確率変数  $x(i)$  のn次モーメントは、その確率分布  $P(i)$  を用いて次の式で表される。

- 15       (式14)

$$\sum_i P(i)x(i)^n$$

1次モーメントは、次の式であらわされるように平均値である。

- (式15)

$$\sum_i P(i)x(i)$$

- 20       また、2次モーメントと1次モーメントを利用して、次の式のように分散を表すことができる。

- (式16)

$$\sum_i P(i)x(i)^2 - \left\{ \sum_i P(i)x(i) \right\}^2$$

- 25       このように、n次モーメントを用いれば確率分布の平均値や分散を計算できる。具体的には、接続損失の平均値を求めるには接続損失の1次モーメント、分散を求めるには接続損失の1次モーメント及び2次モーメントが必要である。一方、

接続損失自体は軸ずれ量や角度ずれ量の 2 乗に比例する。よって、接続損失の平均値を求めるには、それらずれ量の 1 次モーメント及び 2 次モーメントが必要であり、分散を求めるにはずれ量の 1 ～ 4 次モーメントが必要である。

本発明の一例として、接続損失値の  $n$  次モーメントをシミュレーションする方法について図 1 4 に示す。

フェルールの内径と光ファイバ外径から生じる隙間と、フェルールの外周部と貫通孔との同芯度と、光ファイバのコアとクラッドとの同芯度から単一プラグの軸ずれ分布を求める。そして、単一プラグの軸ずれの  $n$  次モーメント 2 個及びフェルールの外径差の  $n$  次モーメントから、チューニングしてペア化された軸ずれの  $n$  次モーメントを計算する。

図 2 A に示したように、貫通孔 1 a を有するフェルール 1 に光ファイバ保護具 2 が固定されており、光ファイバ 3 を光ファイバ保護具 2 の開口部から挿入固定してプラグ 1 0 が形成される。軸ずれは、図 2 B に示したように、フェルール先端面 1 b での外周部 1 c の中心からの位置のずれを意味する。

ここで、外周部 1 c の中心を  $O_1$  とする。フェルールの貫通孔の中心を  $O_2$  とすると、 $O_2$  の位置ずれが同芯度の半値となる。次に、光ファイバの中心位置が  $O_3$  であり、 $O_2$  と  $O_3$  の距離はフェルール内径から光ファイバ外径を引いた値の半値となる。更に、光ファイバコアの中心位置は  $O_4$  となり、 $O_3$  と  $O_4$  の距離は光ファイバコアの同芯度の半値となる。最終的に  $O_1$  と  $O_4$  の距離がフェルール外周部 1 c に対する総軸ずれ  $d_T$  となる。

この様に、各パラメータにおける単一の軸ずれは軸ずれしている方向がランダムなので、各パラメータにおける軸ずれが大きければ総軸ずれが大きくなるとは限らない。

以上により、単一プラグの軸ずれを求めたが、光コネクタとしては一對 2 個のプラグを当接させた条件で計算する必要があり、図 1 5 A および図 1 5 B を用いてチューニングしてペア化した軸ずれの計算方法について説明する。

図 1 5 A はフェルール 1 にフェルール 1' が当接した状態を示しており、割スリーブ 5 によって先端面 1 b と 1 b' が接触している。

ここで、図 1 5 B に示すように、割スリーブ 5 のスリット 5 a の対向部 5 b の

内周面がフェルール1とフェルール1'の位置基準点となり、大径のフェルール1'がスリット5aの方向へ位置ずれを生じることとなる。小径フェルール1の外周部の中心 $O_1$ に対する総軸ずれの中心を $O_4$ とし、大径フェルール1'の外周部の中心 $O_1'$ に対する総軸ずれの中心を $O_4'$ としたときに、 $O_1$ と $O_1'$ の距離 $d_s$ 分スリット5aの方向へ位置ずれを生じる。ここで $O_1$ と $O_1'$ の距離 $d_s$ は大径フェルール1'の外径と小径フェルール1の外径との差の半値である。

従って、チューニングしてペア化した最終的な軸ずれの中心は $O_5$ となり $O_4$ と $O_5$ との距離 $d_p$ がペア化した軸ずれとなる。このとき、チューニングの効果として線分 $O_1O_4$ と線分 $O_1'O_4'$ の成す角は90度以内であり、この結果として $d_p$ が小さく留まっている。

次に、角度ずれであるが、これも上記同様に単一フェルールの角度ずれの分布データから、ペア化した角度ずれのn次モーメントを計算する。

図4Aに示したように、フェルール1、1'が割スリーブ5内部で先端面1b、1b'にて当接しており、貫通孔1a、1a'は断面上 $\theta^\circ$ 、 $\theta'^\circ$ 傾いている。しかしながら、接触面内の角度方向に $\phi$ 、 $\phi'$ 傾斜していることも考慮に入れる必要があり、最終的にフェルール1の角度ずれのベクトル $r$ とフェルール1'のベクトル $r'$ との相対的な角度がペア化した角度ずれとなる。

ここで、2個の寸法パラメータのn次モーメントを、その2個の寸法パラメータのなす角を考慮して合成する方法について説明する。

図16は寸法パラメータ1のベクトルと寸法パラメータ2のベクトルが合成されて寸法パラメータ3のベクトルが生成されるということを示している。ベクトルの向きに関しては通常用いられる4回チューニングでは、同じ90度の範囲に一樣分布している。寸法パラメータ3の大きさは、三角関数の余弦定理を使えば寸法パラメータ1、2、なす角( $\theta_2 - \theta_1$ )で表される。よって、寸法パラメータ3のn次モーメントも、寸法パラメータ1、2、角 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ とその確率分布を用いて表すことができる。これを角 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ で積分してしまえば、寸法パラメータ3のn次モーメントは、寸法パラメータ1と2のn次モーメントのみで表される。

2個の角度パラメータのn次モーメントを、その2個の角度パラメータのなす

角を考慮して合成する場合にもこの方法を用いる。

以上によりペア化した軸ずれの $n$ 次モーメントとペア化した角度ずれの $n$ 次モーメントを算出することができた。

次に図14に戻り説明するが、チューニングしてペア化した軸ずれの $n$ 次モーメントから数3より軸ずれによる接続損失値の $n$ 次モーメントを求める。更にはペア化した角度ずれの $n$ 次モーメントから数5より角度ずれによる接続損失値の $n$ 次モーメントを求める。

以上の軸ずれによる接続損失値の $n$ 次モーメントと角度ずれによる接続損失値の $n$ 次モーメントと、割スリーブの接続損失の $n$ 次モーメントを合計して総合接続損失の $n$ 次モーメントが算出できる。与えられたデータが、割スリーブの接続損失分布ではなく寸法または角度パラメータの分布である場合には、数3または数5を用いて接続損失分布に変換してから、その $n$ 次モーメントを求める。具体的に次のようにする。例として1次モーメント、すなわち平均値の場合に関して解説する。異なる要因を含んだ接続損失は、それら一つ一つが十分に低損失な場合、個々の要因による接続損失を足し合わせるだけでよい。よって、総合接続損失は、軸ずれによる接続損失と角度ずれによる接続損失と割スリーブの接続損失の和であるといえる。このことは、軸ずれによる接続損失を $IL_{\Delta}$ ；角度ずれによる接続損失を $IL_{\theta}$ ；割スリーブの接続損失を $IL_{sl}$ ；総合接続損失を $IL$ とすると、次の式で表される。

(式17)

$$IL = IL_{\Delta} + IL_{\theta} + IL_{sl}$$

但し、接続損失はいずれも非負である。また、それらの1次モーメント、すなわち平均値をそれぞれ、 $\langle IL_{\Delta} \rangle$ ； $\langle IL_{\theta} \rangle$ ； $\langle IL_{sl} \rangle$ ； $\langle IL \rangle$ と表す。軸ずれ、角度ずれ、割スリーブの接続損失は独立なので、総合接続損失の1次モーメント、すなわち平均値は次の式で表される。

(式18)

$$\langle IL \rangle = \langle IL_{\Delta} \rangle + \langle IL_{\theta} \rangle + \langle IL_{sl} \rangle$$

本発明で使用する寸法パラメータのデータ数は少なくとも10個のデータがあることが望ましく、特に望ましくは100個以上のデータがあることがよい。こ



れは、データ数が多ければ多いほど、寸法パラメータのヒストグラムを滑らかな確率分布とすることができるからである。

また、寸法パラメータのデータ刻みは $0.1\mu\text{m}$ 以下であることが望ましく、特に望ましくは $0.05\mu\text{m}$ 以下であることがよい。これは、データ刻みが小さければ小さいほど、高精度の $n$ 次モーメントを計算できるからである。

なお、以上の実施形態では軸ずれ量と角度ずれ量の両方を用いて接続損失を計算したが、例えば軸ずれ量に比べて角度ずれ量が非常に小さい場合は軸ずれ量のみで接続損失を計算することも可能であり、その逆の場合は角度ずれ量のみで計算することも可能である。

光コネクタの接続損失を小さくするために、軸ずれの方向をある一定方向に合わせこむ、調芯技術が導入されているが、本発明の光コネクタの接続損失計算方法を用いることも可能である。

本発明では、上記光コネクタの接続損失計算方法を用いてシミュレーションソフトウェアとすることが可能である。

前記、パーソナルコンピュータの総合型表計算ソフト「Excel」で作成する方法が、簡便、低価格でしかももつとも一般的に使い慣れた方法であるために特に望ましいが、Basic、Fortran、C言語等を用いて作成することでも、同様に本発明の効果を奏することができる。

本発明の光コネクタの接続損失計算方法及びそれを用いたシミュレータは、シングルモード光ファイバで説明してきたが、マルチモード用光ファイバにも適用することができる。

以下本発明の実施例を説明する。

図14に示す本発明の光コネクタの接続損失計算シミュレータを用いて、フェルール内径を $\phi 125.2 \sim 125.7\mu\text{m}$ 、同芯度を $0 \sim 0.8\mu\text{m}$ 、外径を $\phi 2.4989 \sim 2.4992\text{mm}$ 、角度ずれを $0.02 \sim 0.14^\circ$ 、光ファイバの同芯度を $0 \sim 0.4\mu\text{m}$ 、外径を $124.8 \sim 125.3\mu\text{m}$ の分布データとしてシミュレーションした。図17Aはその寸法データから求めた単一プラグの軸ずれ分布とフェルール外径差分布を示したものである。ここでフェルール外半径差分布は、2プラグをペア化した際に現われるフェルール外半径の差を

分布にしたものであり、フェルールの外径分布から求まる。以上より、接続損失値の平均値と標準偏差は図 17B のようになった。

次に比較として、別シミュレータの結果は、接続損失の平均値がチューニングなしの場合で 0.07 dB となった。一方無限回チューニングの場合は、ペア化  
5 されるプラグの軸ずれの方向が同じであるので 0.01 dB となった。

以上より、本発明のフェールールおよび光ファイバの寸法パラメータの分布データから求まるそれぞれの軸ずれ量、ならびにフェルールの角度パラメータの分布データから求まる角度ずれ量を、光ファイバおよびフェルールの軸方向に垂直な面内のベクトル量として総和を計算することで、接続状態での軸ずれ量ならびに  
10 角度ずれ量の  $n$  次モーメントを計算し、そこから接続損失の  $n$  次モーメントを計算する方法は、別シミュレータによる方法とほぼ同等の値が得られることが確認できた。

なお、所要時間は、本発明はデータ入力を含めて数十分であったのに対して、比較例の実測する方法では、サンプル作成、測定、データまとめ含めて数十時間  
15 かかり、本発明では多大な工数と経費を要しないで容易に接続損失の分布データを得ることが出来た。

#### 産業上の利用の可能性

本発明は、光通信に用いられる光コネクタの接続損失値の分布データをシミュ  
20 レーションにより推定できる点で有用な技術である。

## 請 求 の 範 囲

1. 長手方向に貫通孔を有するフェルールに光ファイバを挿入固定した光コネクタにおいて、少なくとも上記フェルールの寸法パラメータの分布データと、  
5 少なくとも上記光ファイバの寸法パラメータの分布データから軸ずれ量を計算し、  
該軸ずれ量から接続損失値を計算し、該接続損失値の分布をシミュレーションする光コネクタの接続損失計算方法。
2. 少なくともフェルールの寸法パラメータの分布データと、少なくとも光ファイバの寸法パラメータの分布データから、ランダムに特定のデータを抽出し、  
10 それらの組み合わせにより軸ずれ量を計算し、該軸ずれ量から接続損失値を計算し、  
該接続損失値のデータを複数得ることにより、接続損失値の分布をシミュレーションする請求項1記載の光コネクタの接続損失計算方法。
3. 上記接続損失計算方法において、フェルール貫通孔の外周部に対しての角度ずれである角度パラメータの分布データを組み合わせる請求項1記載の光コネクタの接続損失計算方法。  
15
4. さらに、割スリーブの寸法パラメータもしくは角度パラメータの分布データ、または割スリーブの接続損失値の分布データを組み合わせる請求項3記載の光コネクタの接続損失計算方法。
5. フェルールの内径と光ファイバ外径から生じる隙間と、フェルールの外周部と貫通孔との同芯度と、光ファイバのコアとクラッドとの同芯度から軸ずれ量を求める請求項4記載の光コネクタの接続損失計算方法。  
20
6. フェルールの内径と光ファイバ外径から生じる隙間と、フェルールの外周部と貫通孔との同芯度と、光ファイバのコアとクラッドとの同芯度から軸ずれ量を求めて単一のプラグの軸ずれ量とし、該単一のプラグの軸ずれ量のデータを2  
25 個と、フェルールの外径差による軸ずれを加味して求めたペア化した軸ずれ量から接続損失値を計算することにより、接続損失値の分布をシミュレーションする請求項5記載の光コネクタの接続損失計算方法。
7. ペア化した軸ずれから算出した接続損失値と、ペア化した角度ずれから算出した接続損失値と、割スリーブの接続損失値を合計することにより総合接続損失

失値とすることにより、接続損失値の分布をシミュレーションする請求項 6 記載の光コネクタの接続損失計算方法。

8. フェルールの角度パラメータの分布データから求まる角度ずれ量を、光ファイバおよびフェルールの軸方向に垂直な面内のベクトル量として総和を計算することで、接続状態での軸ずれ量および／または角度ずれ量の分布を計算し、そこから接続損失分布を計算する請求項 1 記載の光コネクタの接続損失計算方法。

9. フェルールの寸法パラメータの分布データと光ファイバの寸法パラメータの分布データから生ずる軸ずれ量分布、および／またはフェルールの角度パラメータの分布データから生ずる角度ずれ量分布を、ベクトルとして合成する際に、合成される 2 個の軸ずれベクトルまたは角度ずれベクトルの成す角を、合成した軸ずれベクトルまたは角度ずれベクトルの大きさに変数変換する請求項 8 記載の光コネクタの接続損失計算方法。

10. フェルールの内径と光ファイバ外径から生じる隙間の分布と、フェルールの外周部と貫通孔との同芯度の分布と、光ファイバのコアとクラッドとの同芯度の分布を、ベクトルとして合成して単一プラグの軸ずれ量分布とし、該単一プラグの軸ずれ量分布 2 個と、フェルールの外径差分布をベクトルとして合成することで算出したペア化した軸ずれ量分布から接続損失分布を計算する請求項 8 記載の光コネクタの接続損失計算方法。

11. フェルール貫通孔の外周部に対する長手方向の傾きから上記角度ずれ量を求める請求項 8 記載の光コネクタの接続損失計算方法。

12. フェルールの角度ずれ量分布 2 個を合成することで算出したペア化した角度ずれ量分布から接続損失分布を計算する請求項 8 記載の光コネクタの接続損失計算方法。

13. ペア化した軸ずれから算出した接続損失値と、ペア化した角度ずれから算出した接続損失値と、割スリーブの接続損失値を合計して総合接続損失値とすることにより、接続損失値の分布を計算する請求項 10 記載の光コネクタの接続損失計算方法。

14. フェルールの角度パラメータの分布データから求まる角度ずれ量を、光ファイバおよびフェルールの軸方向に垂直な面内のベクトル量として総和を計算

することで、接続状態での軸ずれ量および／または角度ずれ量の $n$ 次モーメント（ $n$ 次積率）を計算し、そこから接続損失の $n$ 次モーメントを計算する請求項1記載の光コネクタの接続損失計算方法。

15. 接続損失の1次モーメントから平均値を、同1次モーメントと2次モーメントから標準偏差／分散を計算する請求項14記載の光コネクタの接続損失計算方法。

16. フェルールの内径と光ファイバ外径から生じる隙間の $n$ 次モーメントと、フェルールの外周部と貫通孔との同芯度の $n$ 次モーメントと、光ファイバのコアとクラッドとの同芯度の $n$ 次モーメントを、ベクトルとして合成して単一プラグの軸ずれ量の $n$ 次モーメントとし、該単一プラグの軸ずれ量の $n$ 次モーメント2個と、フェルールの外径差の $n$ 次モーメントをベクトルとして合成することで算出したペア化した軸ずれ量の $n$ 次モーメントから接続損失の $n$ 次モーメントを計算する請求項14記載の光コネクタの接続損失計算方法。

17. フェルール貫通孔の外周部に対する長手方向の傾きから上記角度ずれ量を求める請求項14記載の光コネクタの接続損失計算方法。

18. フェルールの角度ずれ量の $n$ 次モーメント2個を合成することで算出したペア化した角度ずれ量の $n$ 次モーメントから接続損失の $n$ 次モーメントを計算する請求項14記載の光コネクタの接続損失計算方法。

19. ペア化した軸ずれから算出した接続損失値と、ペア化した角度ずれから算出した接続損失値と、割スリーブの接続損失値を合計して総合接続損失値とすることにより、接続損失値の $n$ 次モーメントを計算する請求項16記載の光コネクタの接続損失計算方法。

20. フェルールおよび光ファイバから成る単一プラグの軸ずれの分布データと、フェルールの外径の分布データから、単一プラグの軸ずれの方向を揃える手法であるチューニングを行なった場合の接続状態での軸ずれ量の $n$ 次モーメント（ $n$ 次積率）を計算し、そこから接続損失の $n$ 次モーメントを計算する請求項1記載の光コネクタの接続損失計算方法。

21. 接続損失の1次モーメントから平均値を、同1次モーメントと2次モーメントから標準偏差／分散を計算する請求項20記載の光コネクタの接続損失計

算方法。

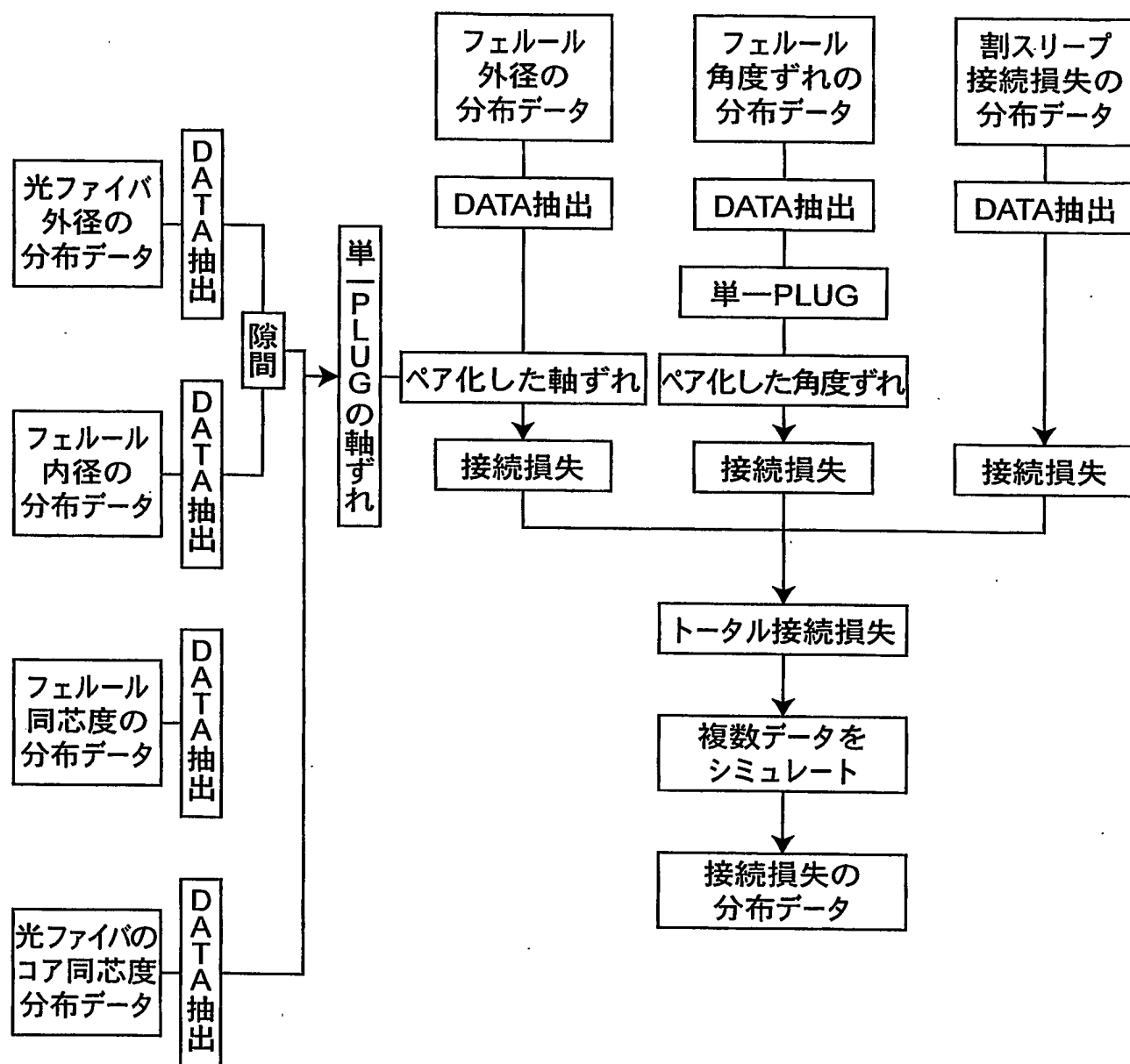
22. フェルール貫通孔の外周部に対する長手方向の傾きから角度ずれ量を求める請求項20記載の光コネクタの接続損失計算方法。

5 23. フェルールの角度ずれ量の $n$ 次モーメント2個を合成することで算出したペア化した角度ずれ量の $n$ 次モーメントから接続損失の $n$ 次モーメントを計算する請求項20記載の光コネクタの接続損失計算方法。

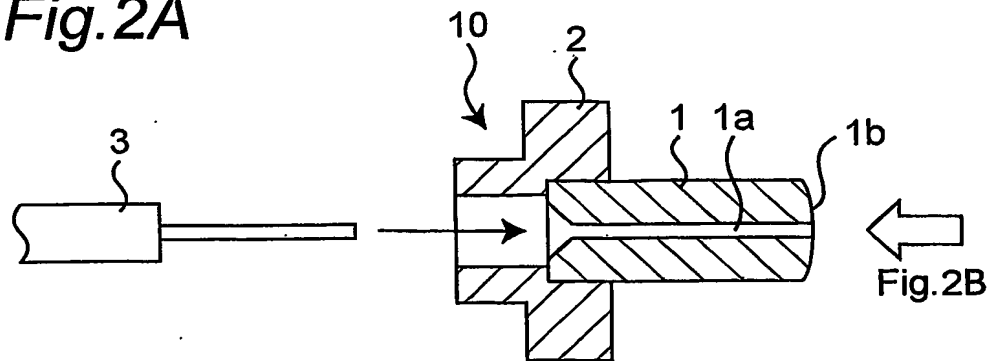
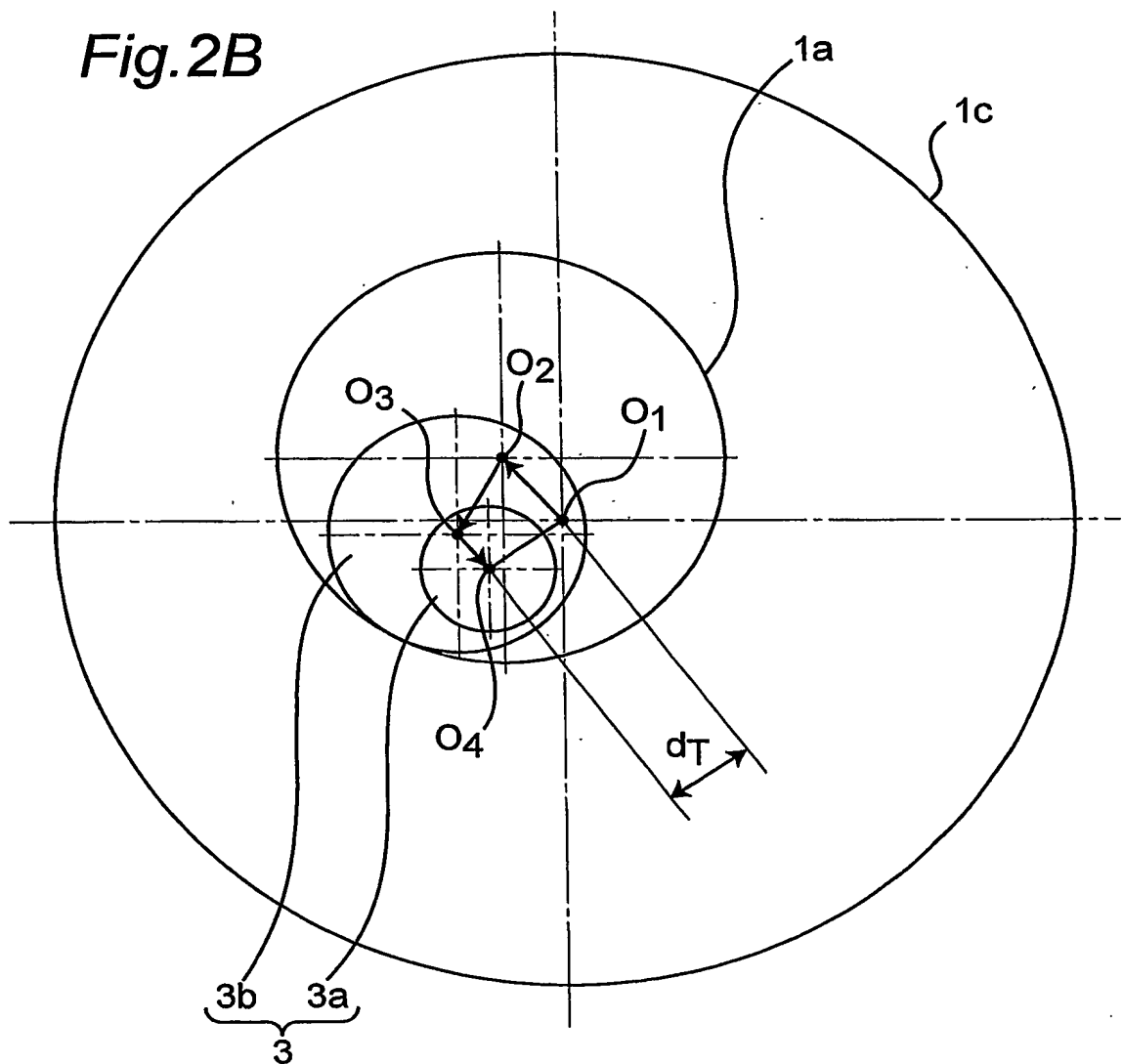
10 24. ペア化した軸ずれから算出した接続損失値と、ペア化した角度ずれから算出した接続損失値と、割スリーブの接続損失値を合計して総合接続損失値とすることにより、接続損失値の $n$ 次モーメントを計算する請求項20記載の光コネクタの接続損失計算方法。

25. 請求項1記載の光コネクタの接続損失計算方法を用いた光コネクタの接続損失計算シミュレータ。

Fig. 1



2/19

*Fig.2A**Fig.2B*



3/19

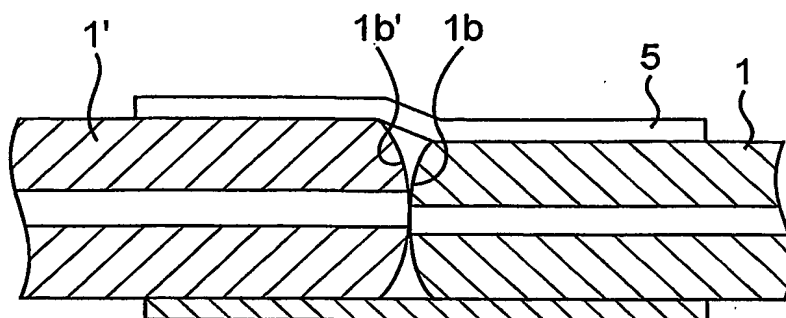
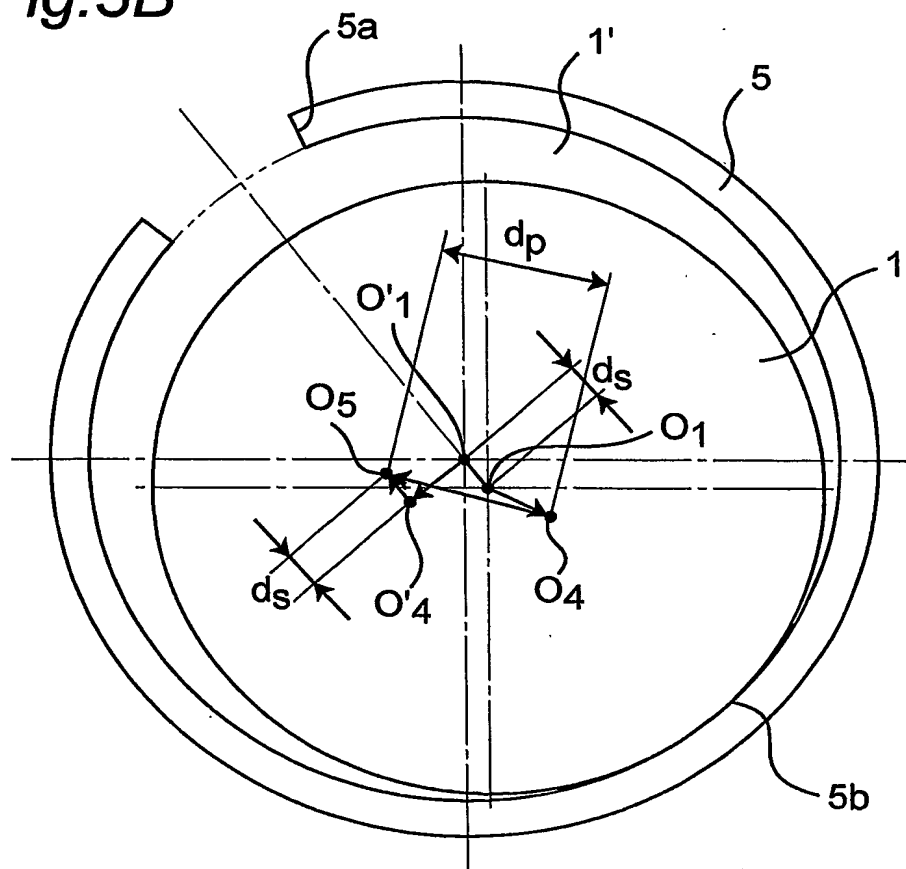
*Fig.3A**Fig.3B*

Fig.4A

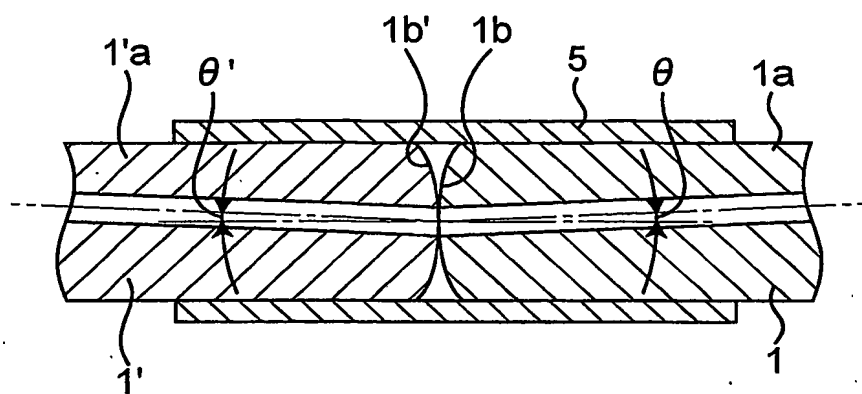
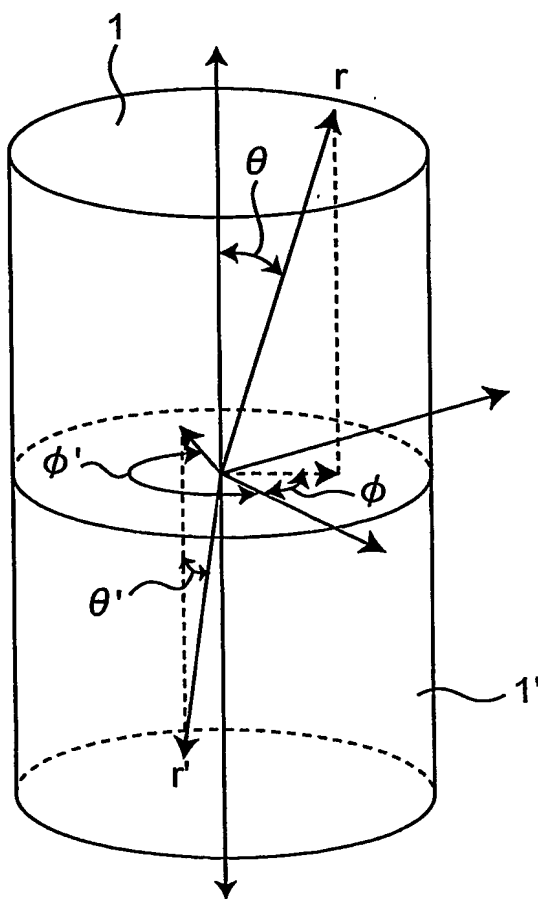


Fig.4B



*Fig.5*

データ番号	データ
1	X1
2	X2
3	X3
4	X4
.	.
.	.
.	.
i	Xi
.	.
.	.
n	Xn

乱数を発生させて1個のデータを  
抽出

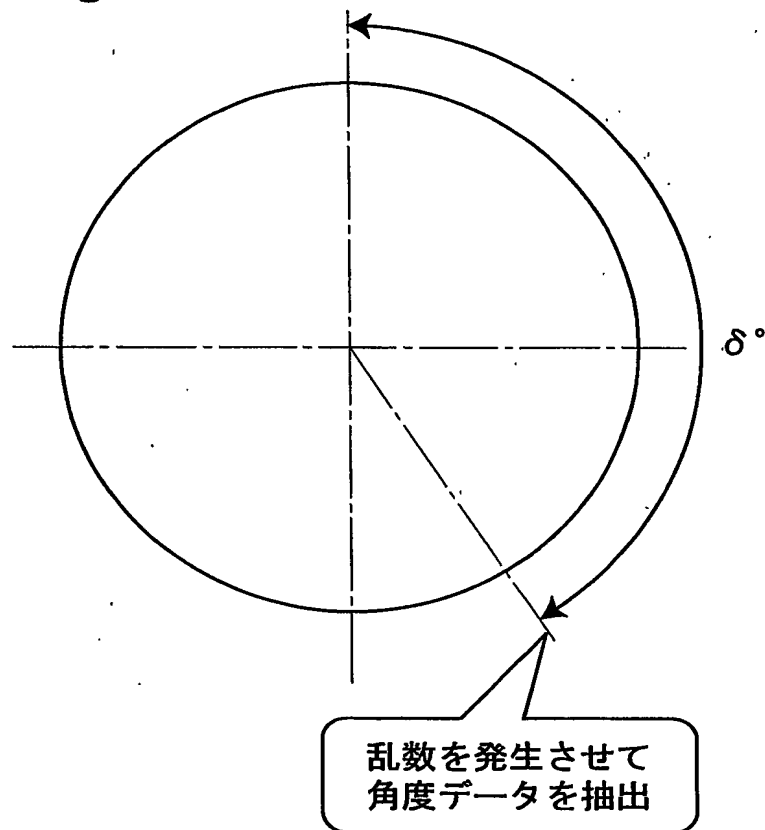
*Fig.6*

Fig.7

サンプルNo	1	2	3	・	・	i	・	・	n-1	n
1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	X12	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	X13	X23	—	—	—	—	—	—	—	—
・	・	・	・	—	—	—	—	—	—	—
・	・	・	・	・	—	—	—	—	—	—
i	X1i	X2i	X3i	・	・	—	—	—	—	—
・	・	・	・	・	・	・	—	—	—	—
・	・	・	・	・	・	・	・	—	—	—
n-1	・	・	・	・	・	Xin-1	・	・	—	—
n	X1n	X2n	X3n	・	・	Xin	・	・	Xn-1n	—



平均値	Xavr
バラツキ	$\sigma$
最大値	Xmax

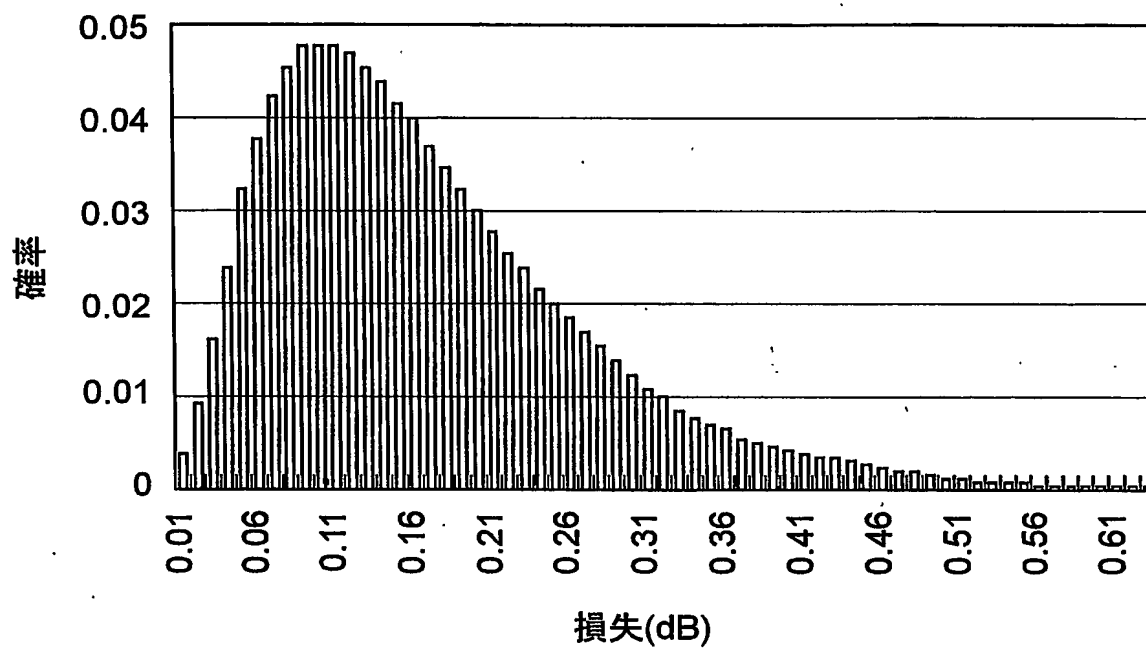
*Fig. 8*

Fig. 9

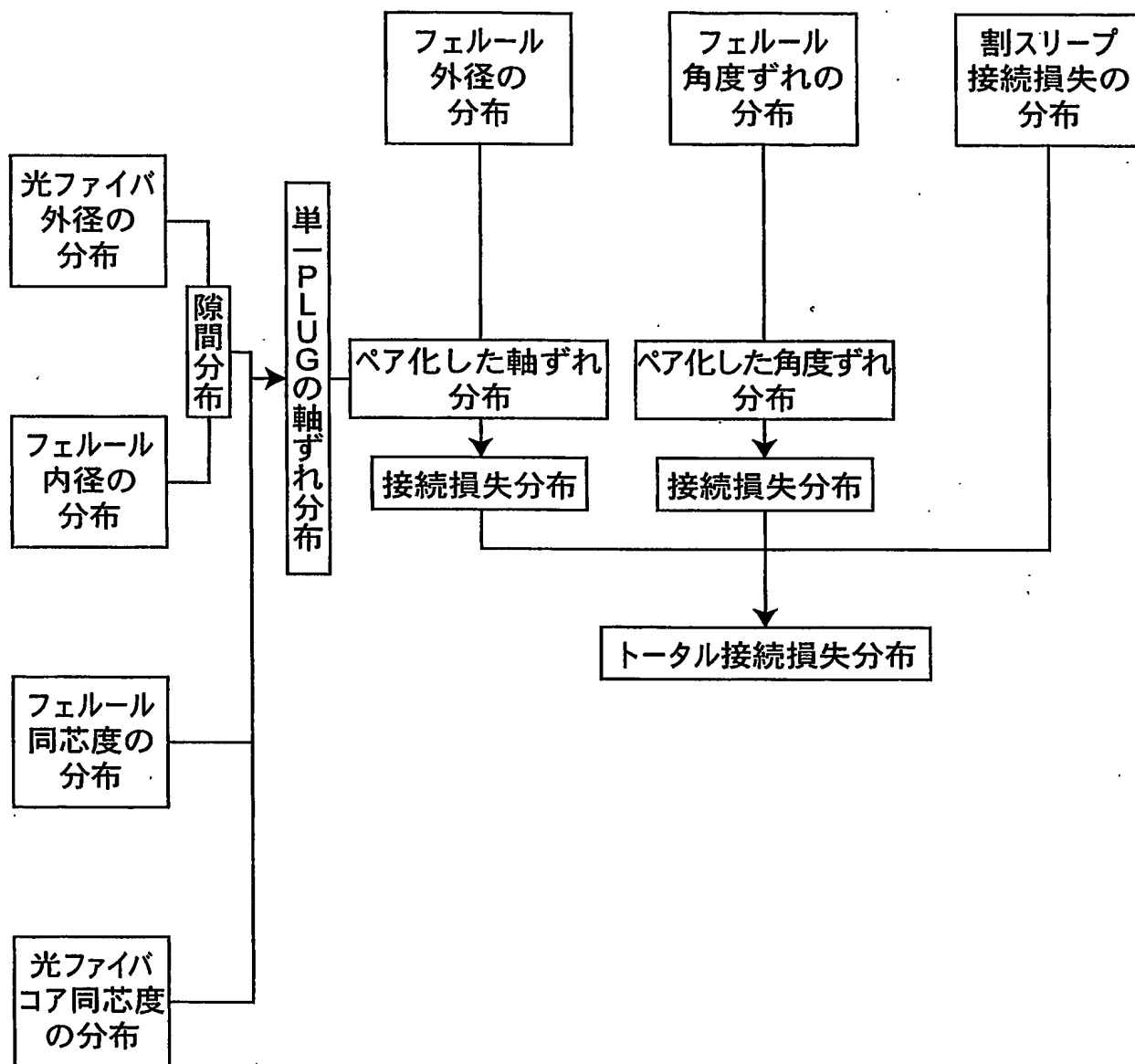


Fig.10

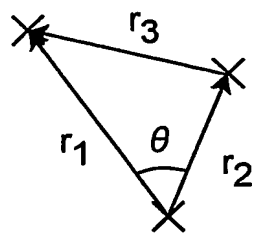


Fig.11

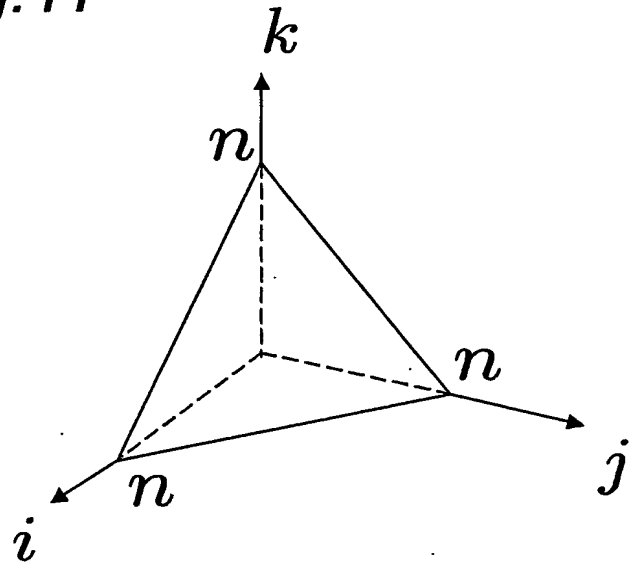




Fig.12

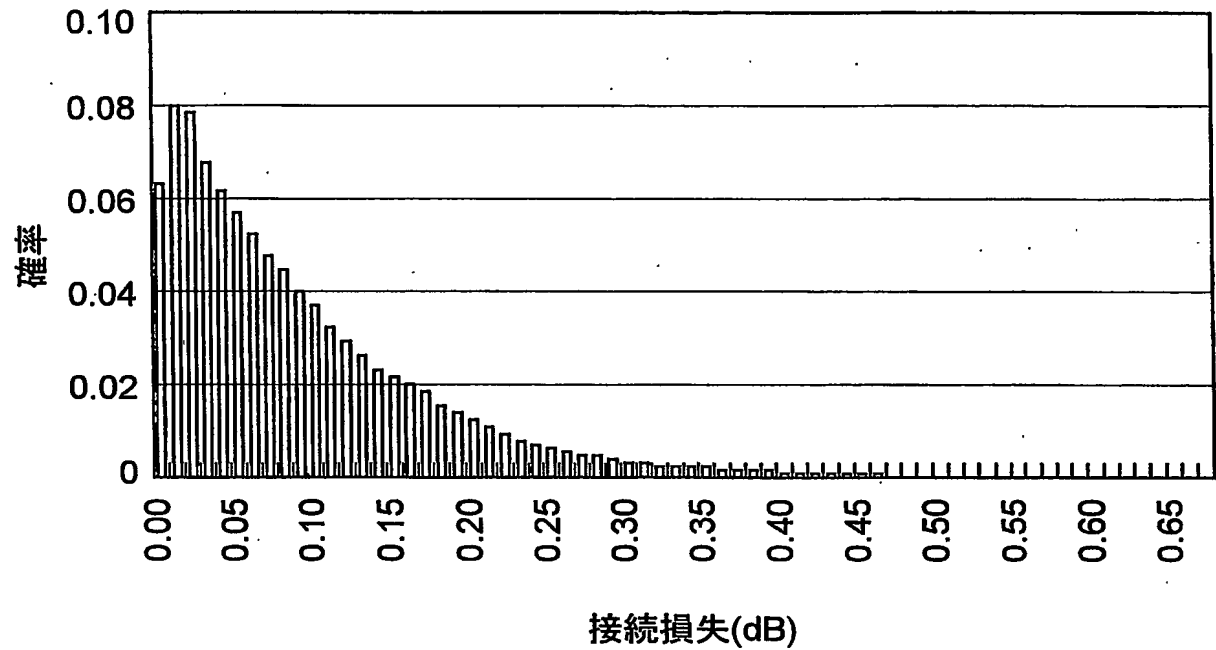


Fig.13

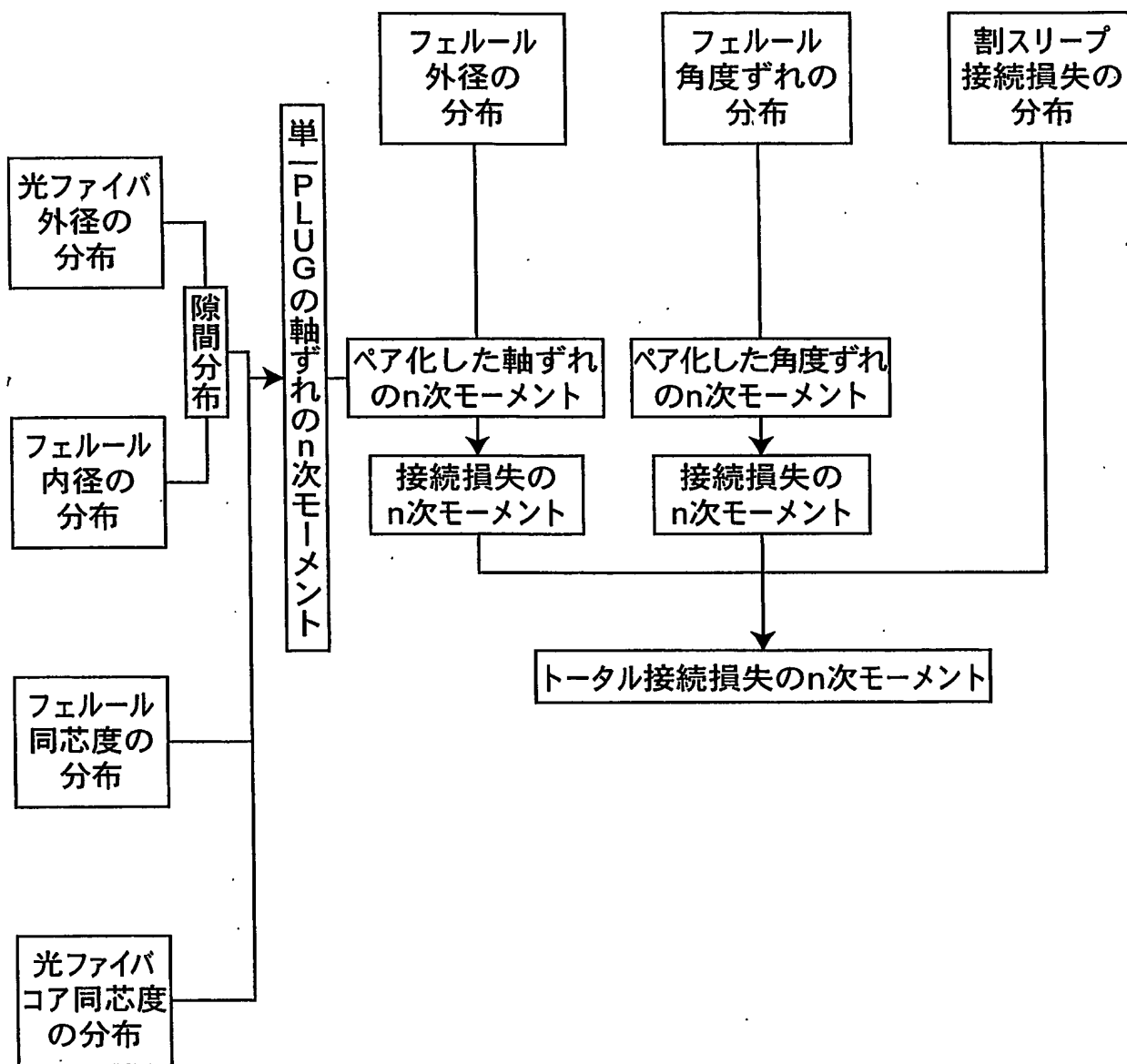
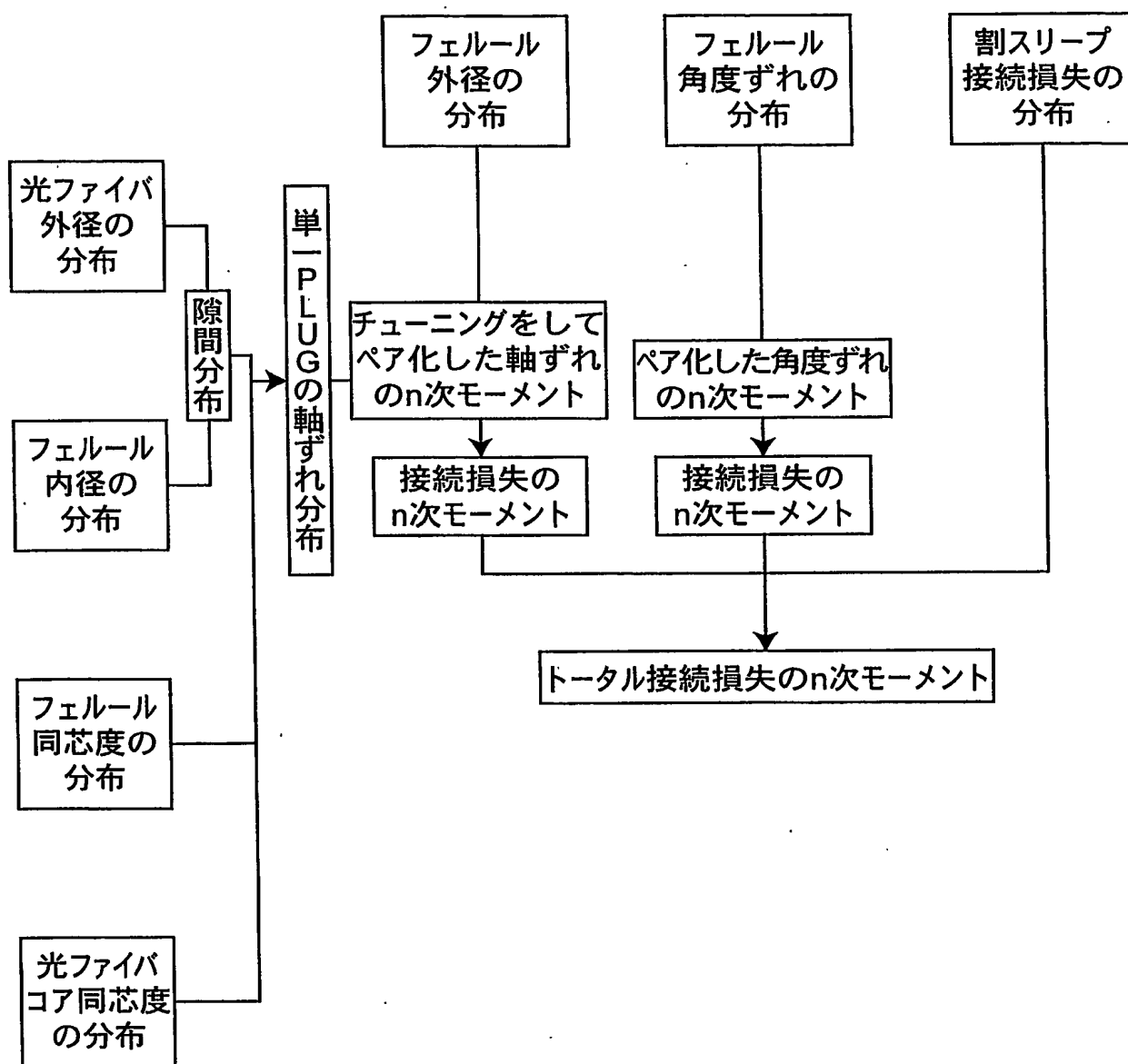
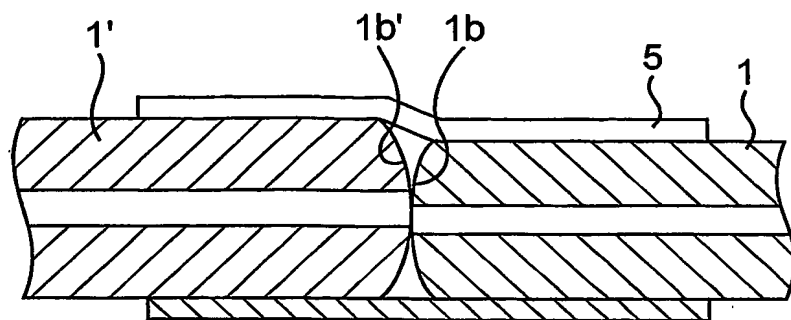
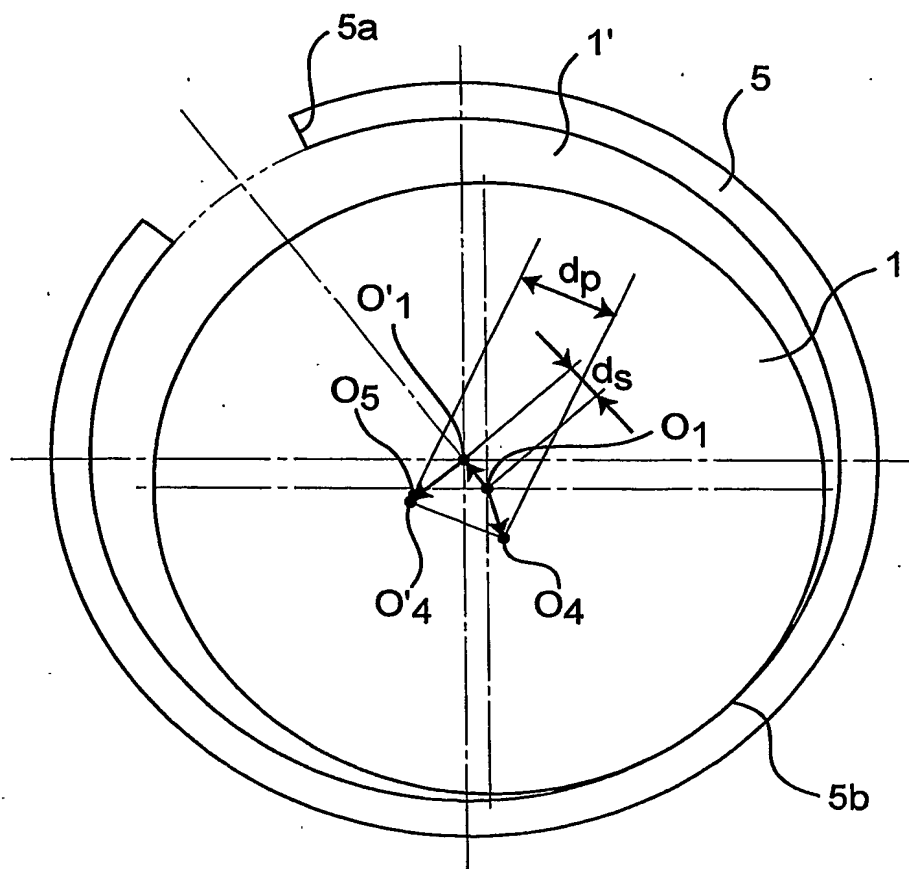
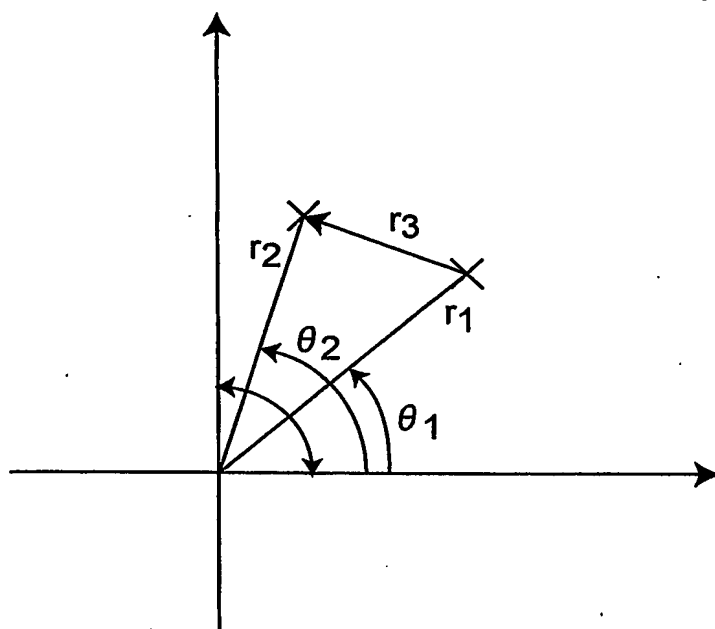


Fig. 14



*Fig.15A**Fig.15B*

*Fig. 16*

16/19

Fig.17A

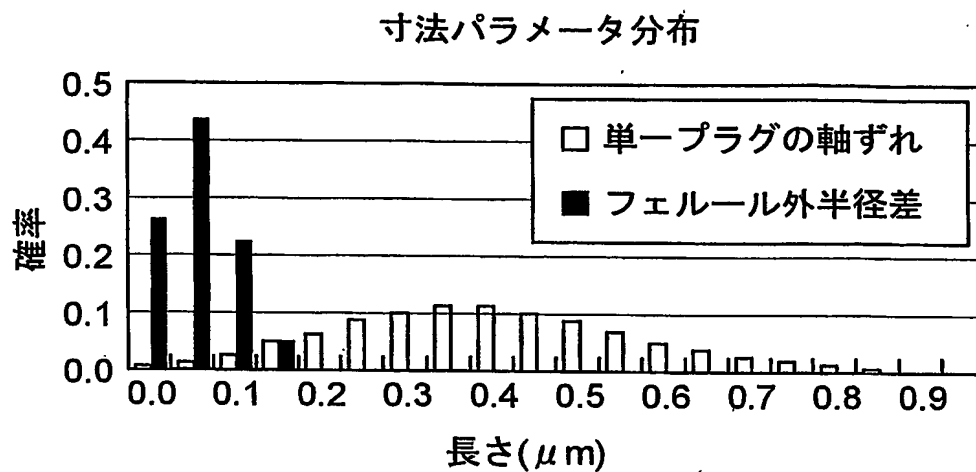
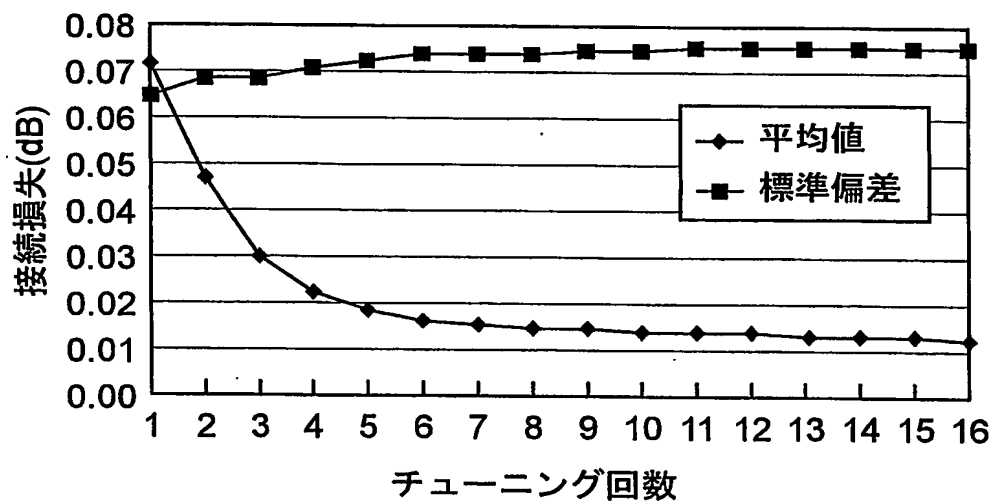
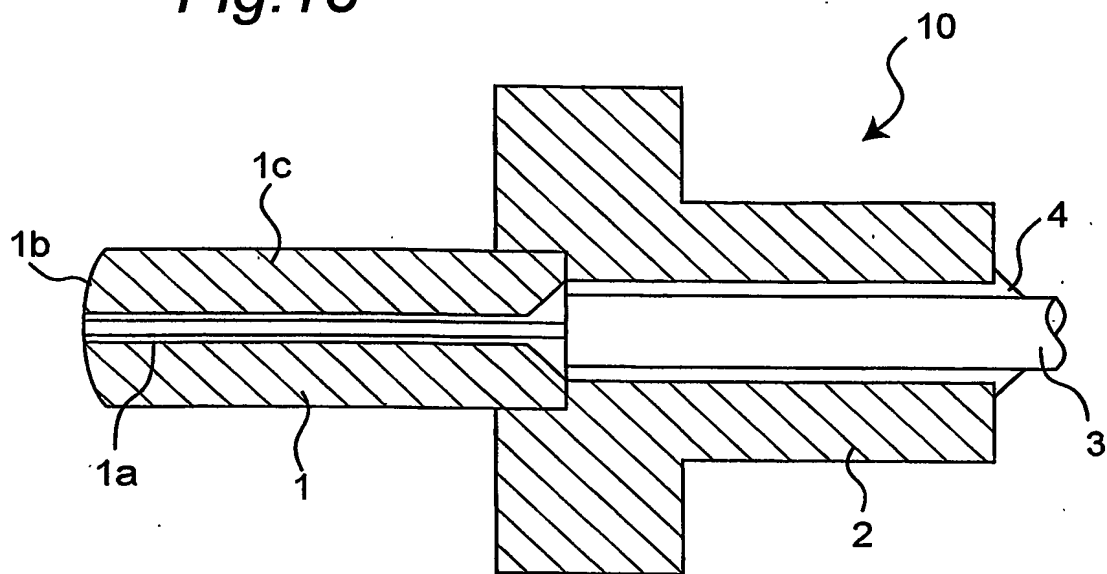


Fig.17B



*Fig.18*



*Fig.19*

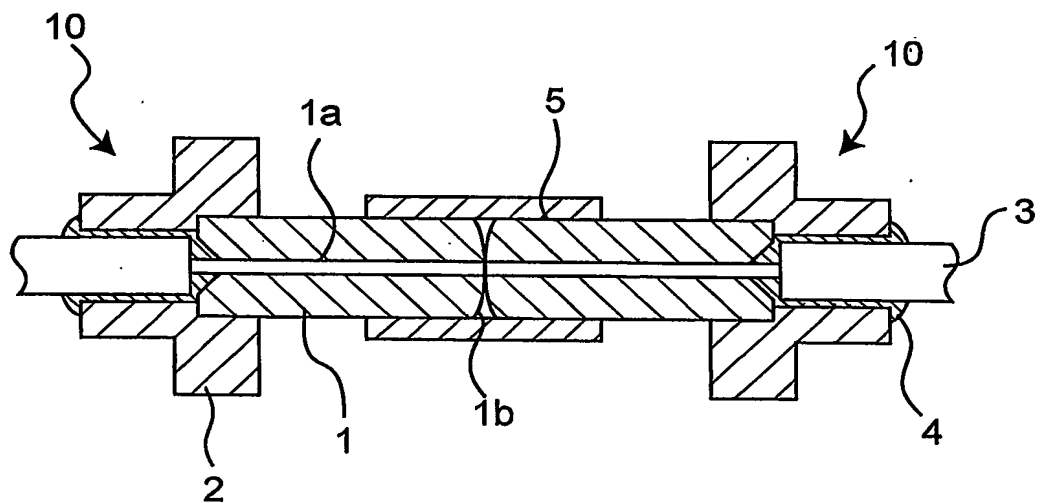


Fig.20A

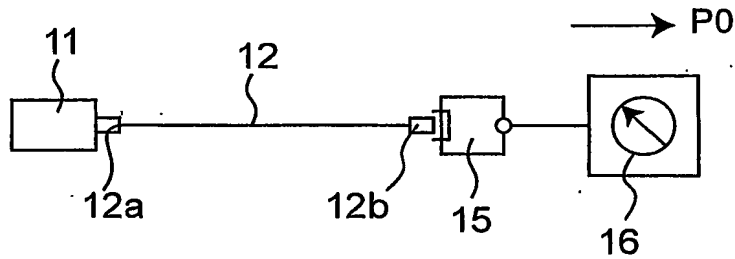


Fig.20B

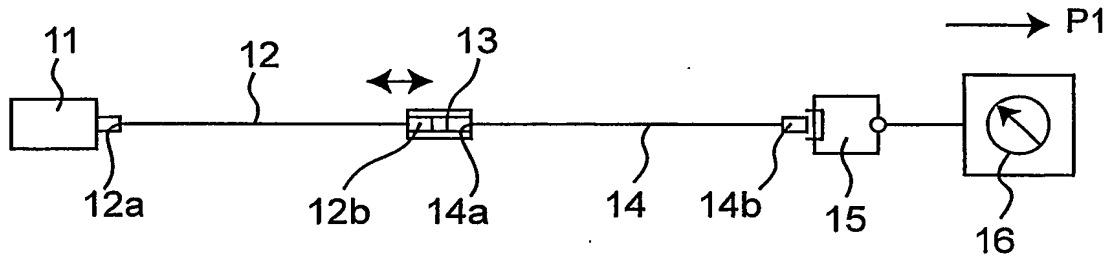
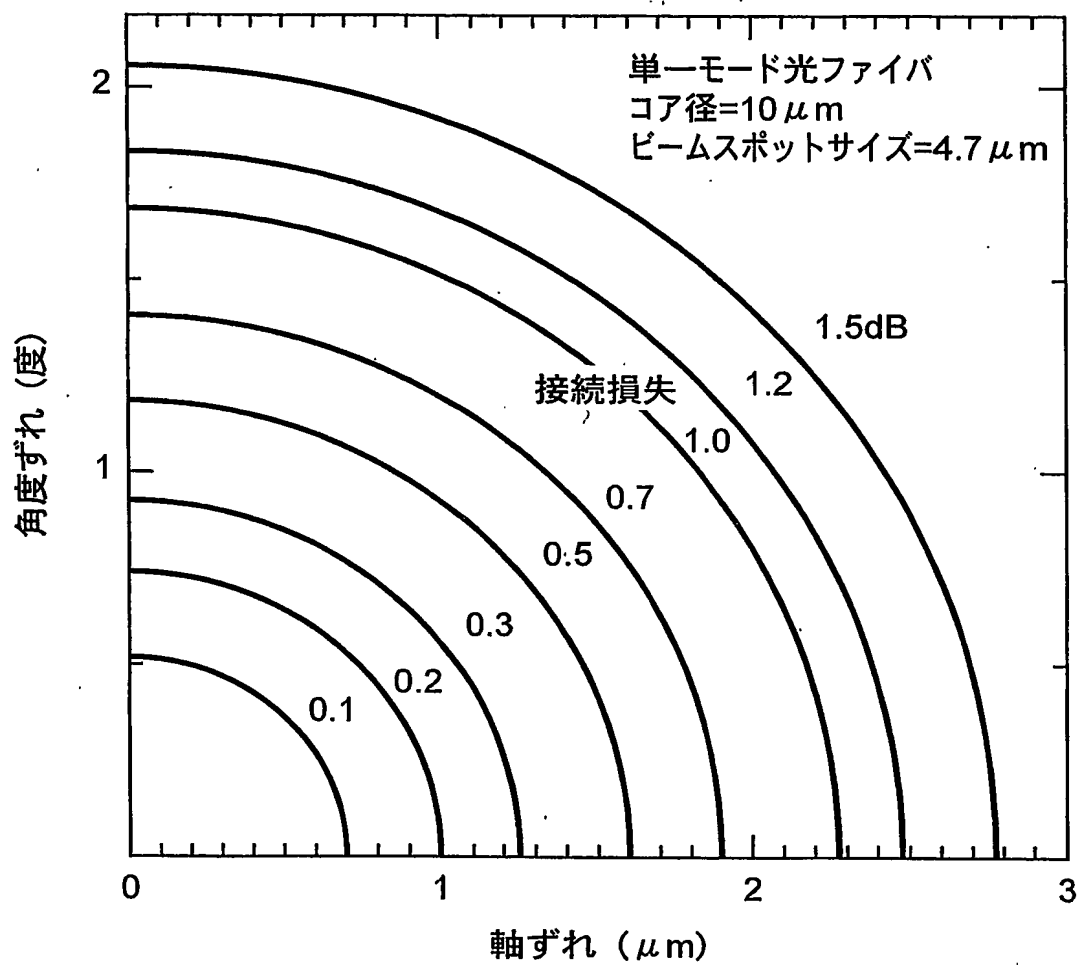




Fig. 21



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/011324

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> G02B6/36

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> G02B6/36, G05B23/00-23/02, G06G3/10, G06F17/50

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JICST (JOIS)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	Yasuhiro ANDO et al., 'Statistical Analysis on Connection Characteristics of Optical Fiber Connectors.' IEICE Trans.Electron, 1994, Vol. E77-C, No.12, pages 1970 to 1982	1-7
A		8-25
A	Vokey, 'Statistical Modeling of Mechanical Splice and Connector Losses for Optical Fibers.' International Wire & Cable Symposium Proceedings, 1984, pages 76 to 81	1-25



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

19 November, 2004 (19.11.04)

Date of mailing of the international search report

07 December, 2004 (07.12.04)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G02B6/36

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G02B6/36, G05B23/00-23/02, G06G3/10, G06F17/50

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2004年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2004年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

JICST (JOIS)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	Yasuhiro ANDO et al. 'Statistical Analysis on Connection Characteristics of Optical Fiber Connectors.' IEICE Trans. Electro n, 1994, Vol. E77-C, No. 12, p. 1970-1982	1-7
A		8-25
A	Vokey, 'Statistical Modeling of Mechanical Splice and Connect or Losses for Optical Fibers.' International Wire & Cable Symposium Proceedings, 1984, p. 76-81	1-25

☐ C欄の続きにも文献が列举されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

19.11.2004

国際調査報告の発送日

07.12.2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)  
 郵便番号100-8915  
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

日夏 貴史

2K

3211

電話番号 03-3581-1101 内線 3253